

①

DISTANCE MEASURING DEVICE, DISTANCE MEASURING FACILITY AND DISTANCE MEASURING METHOD

Patent number: JP2002357656
Publication date: 2002-12-13
Inventor: UEYASU TETSUSHI; IRITANI TADAMITSU
Applicant: UEYASU TETSUSHI;; IRITANI TADAMITSU
Classification:
 - international: G01S13/36; G01S17/36
 - european:
Application number: JP20010237280 20010806
Priority number(s):

Also published as:

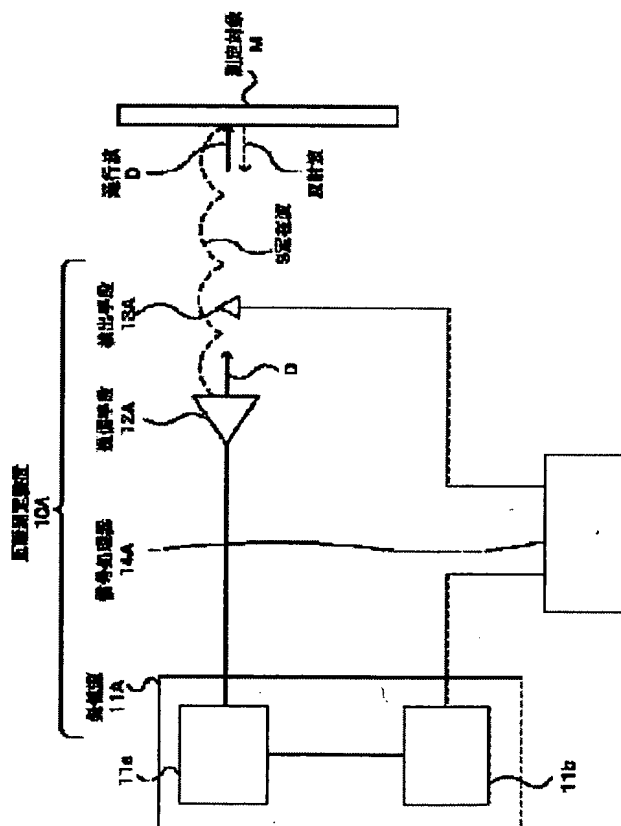


EP1365256 (A1)
 WO02079799 (A)
 JP2002357656 (J)
 CA2440969 (A1)

Abstract of JP2002357656

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a distance measuring device, distance measuring facility and distance measuring method capable of performing a precise distance measurement even in a near distance, simultaneously measuring the distances of two or more measuring objects, and detecting the space coordinate of a measuring object.

SOLUTION: This measuring device 10 for measuring the distance to the measuring object M comprises a transmission source 11 capable of varying the frequency of an output signal; a transmitting means 12 for emitting an electromagnetic wave having the same frequency as that of the output signal outputted from the transmission source 11; a detecting means 13 provided between the transmission means 12 and the measuring object M, which detects the amplitude of a standing wave S formed between the transmission means 12 and the measuring object M and outputs a detection signal; and a signal processor 14 for forming a detection signal function showing the value of the detection signal to the frequency of the output signal and calculating the distance between the detecting means 13 and the measuring object M from the period.



Data supplied from the esp@cenet database - Patent Abstracts of Japan

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2002-357656
(P2002-357656A)

(43) 公開日 平成14年12月13日 (2002. 12. 13)

(51) Int.Cl.⁷G 0 1 S 13/36
17/36

識別記号

F I

G 0 1 S 13/36
17/36

テマコード* (参考)

5 J 0 7 0

5 J 0 8 4

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 28 頁)

(21) 出願番号 特願2001-237280 (P2001-237280)

(22) 出願日 平成13年8月6日 (2001. 8. 6)

(31) 優先権主張番号 特願2001-109270 (P2001-109270)

(32) 優先日 平成13年3月1日 (2001. 3. 1)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願2001-130355 (P2001-130355)

(32) 優先日 平成13年3月24日 (2001. 3. 24)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 501141611

上保 徹志

和歌山県那賀郡岩出町中迫10番地の6

(71) 出願人 591129988

入谷 忠光

徳島県徳島市南沖洲1丁目10番17号

(72) 発明者 上保 徹志

和歌山県那賀郡岩出町中迫10番地の6

(72) 発明者 入谷 忠光

徳島県徳島市南沖洲1丁目10番17号

(74) 代理人 100089222

弁理士 山内 康伸

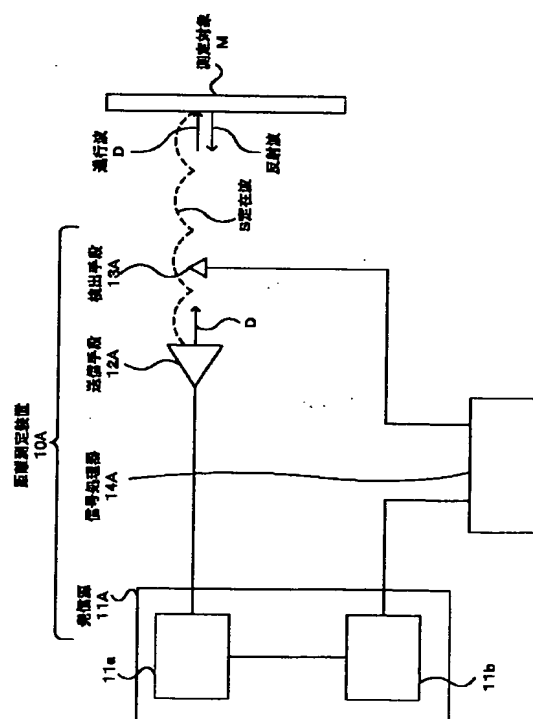
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 距離測定装置、距離測定設備および距離測定方法

(57) 【要約】

【課題】 近距離であっても精度良い距離測定が可能であり、複数の測定対象の距離を同時に測定することができる距離測定装置、距離測定設備および距離測定方法を提供する。

【解決手段】 測定対象Mまでの距離を測定するための測定装置10であって、測定装置10が、出力信号の周波数が可変である発信源11と、発信源11から出力された出力信号の周波数と同一の周波数を有する電磁波を放出する送信手段12と、送信手段12と測定対象Mとの間に設けられ、送信手段12と測定対象Mとの間に形成される定在波Sの振幅を検知し、検出信号を出力する検出手段13と、出力信号の周波数に対する検出信号の値を示す検出信号関数を形成し、その周期から検出手段13と測定対象Mとの間の距離を算出する信号処理器14とからなる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】測定対象までの距離を測定するための測定装置であって、該測定装置が、出力信号の周波数が可変である発信源と、該発信源に接続され、該発信源から出力された出力信号の周波数と同一の周波数を有する電磁波を、前記測定対象との間に存在する伝搬媒質に放出する送信手段と、該送信手段と前記測定対象との間に設けられ、該送信手段と前記測定対象との間において、前記伝搬媒質中に形成される定在波の振幅を検知し、検知した定在波の振幅に対応する検出信号を出力する検出手段と、該検出手段が発信した検出信号および前記発信源から発信された出力信号の周波数情報が入力され、前記出力信号の周波数に対する前記検出信号の値を示す検出信号関数を形成し、その周期から前記検出手段と前記測定対象との間の距離を算出する信号処理器とからなることを特徴とする距離測定装置。

【請求項 2】測定対象までの距離を測定するための測定装置であって、該測定装置が、出力信号の周波数が可変である発信源と、該発信源に接続され、該発信源から出力された出力信号の周波数と同一の周波数を有する電磁波を、前記測定対象との間に存在する伝搬媒質に放出する送信手段と、該送信手段と前記測定対象との間に設けられ、該送信手段と前記測定対象との間において、前記伝搬媒質中に形成される定在波の振幅を検知し、検知した定在波の振幅に対応する検出信号を出力する検出手段と、該検出手段が発信した検出信号および前記発信源から発信された出力信号の周波数情報が入力され、前記出力信号の周波数に対する前記検出信号の値を示す検出信号関数を形成し、該検出信号関数が極大または極小となる少なくとも 2 以上の出力信号の周波数を検出し、該 2 以上の出力信号の周波数のうち 2 つの選択周波数と、該 2 つの選択周波数の間における極大または極小となる出力信号の周波数の数とから前記検出手段と前記測定対象との間の距離を算出する信号処理器とからなることを特徴とする距離測定装置。

【請求項 3】前記発信源から出力される出力信号を周波数変調させるための変調器が設けられており、前記検出手段が、前記定在波の振幅を検出し、その振幅に対応した振幅を有する検知信号を出力する受信部と、前記変調器から変調信号が入力され、該変調信号によって前記検知信号を同期検波して検波信号を形成し、該検波信号の振幅に対応する検出信号を出力する検波部とを備えたことを特徴とする請求項 2 記載の距離測定装置。

【請求項 4】測定対象までの距離を測定するための測定装置であって、該測定装置が、周期的に発光強度が変化する光を発信し、その周波数が可変である発光源と、該発光源から発信された光を 2 つに分光し、分光された一方の光を前記測定対象との間に存在する伝搬媒質に放出する分光手段と、前記測定対象で反射した一方の光と、分光された他方の光を干渉させて定在波を形成する定在

波形成手段と、該定在波形成手段によって形成された定在波の振幅を検知し、検知した定在波の振幅に対応する検出信号を出力する検出手段と、該検出手段が発信した検出信号および前記発光源から発信された光の発光強度変化の周波数情報が入力され、該光の発光強度変化の周波数に対する検出信号の値を示す検出信号関数を形成し、その周期から前記検出手段と前記測定対象との間の距離を算出する信号処理器とからなることを特徴とする距離測定装置。

10 【請求項 5】測定対象までの距離を測定するための測定装置であって、該測定装置が、周期的に発光強度が変化する光を発信し、その周波数が可変である発光源と、該発光源から発信された光を 2 つに分光し、分光された一方の光を前記測定対象との間に存在する伝搬媒質に放出する分光手段と、前記測定対象で反射した一方の光と、分光された他方の光を干渉させて定在波を形成する定在波形成手段と、該定在波形成手段によって形成された定在波の振幅を検知し、検知した定在波の振幅に対応する検出信号を出力する検出手段と、該検出手段が発信した
20 検出信号および前記発光源から発信された光の発光強度変化の周波数情報が入力され、該光の発光強度変化の周波数に対する検出信号の値を示す検出信号関数を形成し、該検出信号関数が極大または極小となる少なくとも 2 以上の発光強度変化の周波数を検出し、該 2 以上の発光強度変化の周波数のうち 2 つの選択周波数と、該 2 つの選択周波数の間における極大または極小となる出力信号の周波数の数とから前記検出手段と前記測定対象との間の距離を算出する信号処理器とからなることを特徴とする距離測定装置。

30 【請求項 6】前記発光源が発信する光の発光強度変化を周波数変調させるための変調器が設けられており、前記検出手段が、前記定在波の振幅を検出し、その振幅に対応した振幅を有する検知信号を出力する受信部と、前記変調器から変調信号が入力され、該変調信号によって前記検知信号を同期検波して検波信号を形成し、該検波信号の振幅に対応する検出信号を出力する検波部とを備えたことを特徴とする請求項 5 記載の距離測定装置。

40 【請求項 7】測定対象の空間座標を検出することができる測定設備であって、該測定設備が、複数の請求項 1、2、3、4、5 または 6 記載の距離測定装置と、該複数の距離測定装置を、同期して作動させる制御装置とからなり、各距離測定装置の信号処理器が算出した検出手段と前記測定対象との間の距離が入力され、入力された各測定装置における検出手段と前記測定対象との間の距離と、各距離測定装置の検出手段同士の相対的な位置とから測定対象の空間座標を算出する演算装置とからなることを特徴とする距離測定設備。

50 【請求項 8】測定対象までの距離を測定するための測定方法であって、送信手段によって、送信手段と測定対象との間に存在する伝搬媒質に電磁波を放出して、前記送信

3

手段と測定対象との間において、伝搬媒質中に定在波を形成させ、前記送信手段と前記測定対象の間における一定の位置において、検出手段によって、前記定在波の振幅を検出し、前記送信手段が放出する電磁波の周波数を変化させて、該周波数に対する前記定在波の振幅を示す振幅曲線を形成し、該振幅曲線の周期から、前記検出手段と前記測定対象との間の距離を算出することを特徴とする距離測定方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、距離測定装置に関する。アンテナや発光器から発信された電波や光等の波（進行波）は、その進行方向に測定対象があると、その測定対象で反射して進行波と逆向きに進む反射波となる。このため、アンテナ等から連続して電波等を出力すると、進行波と反射波が干渉して、アンテナと測定対象との間には定在波が形成される。本発明は上記のような定在波を用いて、測定対象までの距離を測定する距離測定装置、距離測定設備および距離測定方法に関する。

【0002】

【従来の技術】電波を利用した距離決定装置としては、マイクロ波やミリ波を用いた電波レーダが一般によく知られている。電波レーダは方式によりパルスレーダ、FMCWレーダ等に分けられる。また、最近ではスペクトル拡散レーダあるいはCDMAレーダも見られる。パルスレーダは、パルス信号を発信してからそれが測定対象で反射し戻ってくるまでの時間を計測することにより測定対象までの距離を求めるものである。また、スペクトル拡散レーダやCDMAレーダも基本的にはパルスレーダ同様、測定対象までの往復の伝搬時間に基づき距離を測定するものである。FMCWレーダは、周波数掃引した連続波を発信し発信信号と反射信号の周波数差から測定対象までの距離を求めるものである。この方式は測定対象の移動速度も同時に測定することができるという特徴がある。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかるに、これらのレーダでは一般的に近距離の測定が難しく、最小探知距離は数10m以上であるという問題がある。また、その他のレーダとしてはドップラレーダがあり、このドップラレーダは構造が簡単で近距離対象の測定も可能であるが、停止している測定対象までの距離を測定することはできないという問題がある。さらに、従来のレーダでは、複数のレーダを近くで同時に使用した場合、受信器が他のレーダから発信された信号を受信することを避ける手段がなく、測定誤差が著しく増大したり、測定ができなくなるという問題がある。一方、現在、車に対する障害物、特に歩行者との衝突を回避するために、障害物を検出し、その障害物と車の間の距離を測定する車載レーダが検討されている。この車載レーダは、最小探知距

4

離が数10cm以下かつ相対的に停止している測定対象との間の距離の測定が必要であり、しかも他の車の車載レーダの発信信号の影響を受けることなく距離測定を行えなければならない。しかし、従来のレーダでは、この3つの条件を満たすことができない。したがって、上記の3つの条件を満たすレーダが求められている。

【0004】本発明はかかる事情に鑑み、近距離であっても精度良い距離測定が可能であり、複数の測定対象の距離を同時に測定することができ、測定対象の空間座標を検知することができる距離測定装置、距離測定設備および距離測定方法を提供することを目的とする。

【0005】

【課題を解決するための手段】請求項1の距離測定装置は、測定対象までの距離を測定するための測定装置であって、該測定装置が、出力信号の周波数が可変である発信源と、該発信源に接続され、該発信源から出力された出力信号の周波数と同一の周波数を有する電磁波を、前記測定対象との間に存在する伝搬媒質に放出する送信手段と、該送信手段と前記測定対象との間に設けられ、該送信手段と前記測定対象との間において、前記伝搬媒質中に形成される定在波の振幅を検知し、検知した定在波の振幅に対応する検出信号を出力する検出手段と、該検出手段が発信した検出信号および前記発信源から発信された出力信号の周波数情報が入力され、前記出力信号の周波数に対する前記検出信号の値を示す検出信号関数を形成し、その周期から前記検出手段と前記測定対象との間の距離を算出する信号処理器とからなることを特徴とする。請求項2の距離測定装置は、測定対象までの距離を測定するための測定装置であって、該測定装置が、出力信号の周波数が可変である発信源と、該発信源に接続され、該発信源から出力された出力信号の周波数と同一の周波数を有する電磁波を、前記測定対象との間に存在する伝搬媒質に放出する送信手段と、該送信手段と前記測定対象との間に設けられ、該送信手段と前記測定対象との間において、前記伝搬媒質中に形成される定在波の振幅を検知し、検知した定在波の振幅に対応する検出信号を出力する検出手段と、該検出手段が発信した検出信号および前記発信源から発信された出力信号の周波数情報が入力され、前記出力信号の周波数に対する前記検出信号の値を示す検出信号関数を形成し、該検出信号関数が極大または極小となる少なくとも2以上の出力信号の周波数を検出し、該2以上の出力信号の周波数のうち2つの選択周波数と、該2つの選択周波数の間における極大または極小となる出力信号の周波数の数とから前記検出手段と前記測定対象との間の距離を算出する信号処理器とからなることを特徴とする。請求項3の距離測定装置は、請求項2記載の発明において、前記発信源から出力される出力信号を周波数変調させるための変調器が設けられており、前記検出手段が、前記定在波の振幅を検出し、その振幅に対応した振幅を有する検知信号を出力

する受信部と、前記変調器から変調信号が入力され、該変調信号によって前記検知信号を同期検波して検波信号を形成し、該検波信号の振幅に対応する検出信号を出力する検波部とを備えたことを特徴とする。請求項4の距離測定装置は、測定対象までの距離を測定するための測定装置であって、該測定装置が、周期的に発光強度が変化する光を発信し、その周波数が可変である発光源と、該発光源から発信された光を2つに分光し、分光された一方の光を前記測定対象との間に存在する伝搬媒質に放出する分光手段と、前記測定対象で反射した一方の光と、分光された他方の光を干渉させて定在波を形成する定在波形成手段と、該定在波形成手段によって形成された定在波の振幅を検知し、検知した定在波の振幅に対応する検出信号を出力する検出手段と、該検出手段が発信した検出信号および前記発光源から発信された光の発光強度変化の周波数情報が入力され、該光の発光強度変化の周波数に対する検出信号の値を示す検出信号関数を形成し、その周期から前記検出手段と前記測定対象との間の距離を算出する信号処理器とからなることを特徴とする。請求項5の距離測定装置は、測定対象までの距離を測定するための測定装置であって、該測定装置が、周期的に発光強度が変化する光を発信し、その周波数が可変である発光源と、該発光源から発信された光を2つに分光し、分光された一方の光を前記測定対象との間に存在する伝搬媒質に放出する分光手段と、前記測定対象で反射した一方の光と、分光された他方の光を干渉させて定在波を形成する定在波形成手段と、該定在波形成手段によって形成された定在波の振幅を検知し、検知した定在波の振幅に対応する検出信号を出力する検出手段と、該検出手段が発信した検出信号および前記発光源から発信された光の発光強度変化の周波数情報が入力され、該光の発光強度変化の周波数に対する検出信号の値を示す検出信号関数を形成し、該検出信号関数が極大または極小となる少なくとも2以上の発光強度変化の周波数を検出し、該2以上の発光強度変化の周波数のうち2つの選択周波数と、該2つの選択周波数の間における極大または極小となる出力信号の周波数の数とから前記検出手段と前記測定対象との間の距離を算出する信号処理器とからなることを特徴とする。請求項6の距離測定装置は、請求項5記載の発明において、前記発光源が発信する光の発光強度変化を周波数変調させるための変調器が設けられており、前記検出手段が、前記定在波の振幅を検出し、その振幅に対応した振幅を有する検知信号を出力する受信部と、前記変調器から変調信号が入力され、該変調信号によって前記検知信号を同期検波して検波信号を形成し、該検波信号の振幅に対応する検出信号を出力する検波部とを備えたことを特徴とする。請求項7の距離測定設備は、測定対象の空間座標を検出することができる測定設備であって、該測定設備が、複数の請求項1、2、3、4、5または6記載の距離測定装置と、該複数

の距離測定装置を、同期して作動させる制御装置とからなり、各距離測定装置の信号処理器が算出した検出手段と前記測定対象との間の距離が入力され、入力された各測定装置における検出手段と前記測定対象との間の距離と、各距離測定装置の検出手段同士の相対的な位置とから測定対象の空間座標を算出する演算装置とからなることを特徴とする。請求項8の距離測定方法は、測定対象までの距離を測定するための測定方法であって、送信手段によって、送信手段と測定対象の間に存在する伝搬媒質に電磁波を放出して、前記送信手段と測定対象との間において、伝搬媒質中に定在波を形成させ、前記送信手段と前記測定対象の間における一定の位置において、検出手段によって、前記定在波の振幅を検出し、前記送信手段が放出する電磁波の周波数を変化させて、該周波数に対する前記定在波の振幅を示す振幅曲線を形成し、該振幅曲線の周期から、前記検出手段と前記測定対象との間の距離を算出することを特徴とする。

【0006】請求項1の発明によれば、以下の(1)～(4)に示す効果が得られる。

- 20 (1) 発信源から出力された出力信号の周波数を変化させれば、送信手段から放出される電磁波の波長が変化するので、送信手段と測定対象との間の伝搬媒質中に形成される定在波が変化し、検出手段が設けられた位置における定在波の振幅が変化する。このため、出力信号の周波数を変化させれば検出手段が出力する検出信号の値が変化する。出力信号の周波数情報と検出信号の値から、信号処理器によって検出信号関数を形成させることができる。検出手段が設けられた位置における定在波の振幅は、電磁波の周波数、つまり発信源から出力された出力信号の周波数に対して周期的に変化し、その周期は検出手段から測定対象までの距離に対して反比例する。したがって、定在波の振幅の周期、つまり検出信号関数の周期が求められるから、その周期より検出手段から測定対象までの距離を算出することができ、検出手段から測定対象までの距離を測定することができる。
- 30 (2) 検出手段から測定対象までの距離は、出力信号の周波数に対する定在波の振幅の変動周期にのみ依存し、送信手段によって電磁波を発信してから測定対象に反射して検出手段に戻るまでの時間の影響を受けないので、測定対象までの距離が数10センチ以下の近距離であっても、精度よく測定できる。
- 40 (3) 検出信号関数を形成させるときに、出力信号の周波数をランダムに変化させた場合、例えば、M系列符号等に従い出力信号の周波数をランダムに変化させれば、距離測定装置同士が、同じタイミングで、同位相かつ同じ周波数の電磁波を発信する確率はほとんどなくなる。よって、他の距離測定装置から発信された電磁波によって測定誤差が著しく増大したり、測定不能となることを防ぐことができる。
- 50 (4) 検出信号関数をフーリエ変換することによって前記

周期を求めれば、複数の測定対象の間に形成された複数の定在波の振幅を同時に測定しても、各定在波に対してそれぞれ周期を求めることができる。よって、複数の測定対象と検出手段との間の距離をそれぞれ測定することができる。

請求項 2 の発明によれば、以下の (1) ~ (3) に示す効果が得られる。

(1) 発信源から出力された出力信号の周波数を変化させれば、送信手段から放出される電磁波の波長が変化するので、送信手段と測定対象との間の伝搬媒質中に形成される定在波が変化し、検出手段が設けられた位置における定在波の振幅が変化する。このため、出力信号の周波数を変化させれば検出手段が出力する検出信号の値が変化する。出力信号の周波数情報と検出信号の値から、信号処理器によって検出信号関数を形成することができる。検出手段が設けられた位置における定在波の振幅は、電磁波の周波数、つまり発信源から出力された出力信号の周波数に対して周期的に変化し、その周期は検出手段から測定対象までの距離に対して反比例する。したがって、定在波の振幅が極大または極小となる周波数、つまり検出信号関数が極小または極大となる 2 以上の周波数を検出し、この 2 以上の周波数のうち、任意に選択した 2 つの選択周波数と、その選択周波数の間に形成される極小または極大となる周波数の数を算出すれば、検出信号関数の周期を求めることができるので、検出手段から測定対象までの距離を測定することかできる。

(2) 検出手段から測定対象までの距離は、出力信号の周波数に対する定在波の振幅の変動周期にのみ依存し、送信手段によって電磁波を発信してから測定対象に反射して検出手段に戻るまでの時間の影響を受けないので、測定対象までの距離が数 10 センチ以下の近距離であっても、精度よく測定できる。

(3) 検出信号関数を形成させるときに、出力信号の周波数をランダムに変化させた場合、例えば、M 系列符号等に従い出力信号の周波数をランダムに変化させれば、距離測定装置同士が、同じタイミングで、同位相かつ同じ周波数の電磁波を発信する確率はほとんどなくなる。よって、他の距離測定装置から発信された電磁波によって測定誤差が著しく増大したり、測定不能となることを防ぐことができる。

請求項 3 の発明によれば、以下の (4) に示す効果が得られる。

(4) 受信部が出力した検知信号を同期検波して検波信号を形成し、この検波信号の振幅に対応する検出信号を検波部が出力する。すると、検出信号曲線は、定在波の振幅が極小または極大となる周波数近傍では単調増加又は単調減少、しかも、定在波の振幅が極小または極大となる周波数の前後で、検出信号曲線の検出信号の値の符号が変化する曲線となる。したがって、定在波の振幅が極

小または極大となる周波数の検出が正確になり、測定誤差を小さくすることができる。

請求項 4 の発明によれば、以下の (6) ~ (9) に示す効果が得られる。

(6) 発光源から発信された光の発光強度変化の周波数を変化させれば、光の発光強度変化の波長が変化するので、定在波形成手段によって形成される定在波が変化し、検出手段が検知する定在波の振幅が変化する。このため、光の発光強度変化の周波数を変化させれば検出手段が出力する検出信号の値が変化する。光の発光強度変化の周波数情報と検出信号の値から、信号処理器によって検出信号関数を形成させることができる。検出手段が検知する定在波の振幅は、光の発光強度変化の周波数に対して周期的に変化し、その周期は検出手段から測定対象までの距離に対して反比例する。したがって、信号処理器によって検出信号関数の周期が求められるから、その周期より検出手段から測定対象までの距離が算出することができ、検出手段から測定対象までの距離を測定することができる。

(7) 検出手段から測定対象までの距離は、光の発光強度変化の周波数に対する定在波の振幅の変動周期にのみ依存し、発光源によって光を発信してから測定対象に反射して検出手段に戻るまでの時間の影響を受けないので、測定対象までの距離が数 10 センチ以下の近距離であっても、精度よく測定できる。

(8) 検出信号関数を形成させるときに、光の発光強度変化の周波数をランダムに変化させた場合、例えば、M 系列符号等に従い光の発光強度変化の周波数をランダムに変化させれば、距離測定装置同士が、同じタイミングで、同位相かつ光の発光強度変化の周波数が同じである光を発信する確率はほとんどなくなる。よって、他の距離測定装置から発信された光によって測定誤差が著しく増大したり、測定不能となることを防ぐことができる。

(9) 検出信号関数をフーリエ変換することによって前記周期を求めれば、複数の測定対象の間に形成された複数の定在波の振幅を同時に測定しても、各定在波に対してそれぞれ周期を求めることができる。よって、複数の測定対象と検出手段との間の距離をそれぞれ測定することができる。

請求項 5 の発明によれば、以下の (6) ~ (8) に示す効果が得られる。

(6) 発光源から発信された光の発光強度変化の周波数を変化させれば、光の発光強度変化の波長が変化するので、定在波形成手段によって形成される定在波が変化し、検出手段が検知する定在波の振幅が変化する。このため、光の発光強度変化の周波数を変化させれば検出手段が出力する検出信号の値が変化する。光の発光強度変化の周波数情報と検出信号の値から、信号処理器によって検出信号関数を形成させることができる。検出手段が検知する定在波の振幅は、光の発光強度変化の周波

数に対して周期的に変化し、その周期は検出手段から測定対象までの距離に対して反比例する。したがって、定在波の振幅が極大または極小となる発光強度変化の周波数、つまり検出信号関数が極小または極大となる 2 以上の光の発光強度変化の周波数を検出し、この 2 以上の光の発光強度変化の周波数のうち、任意に選択した 2 つの選択周波数と、その選択周波数の間に形成される極小または極大となる周波数の数を算出すれば、検出信号関数の周期を求めることができるので、検出手段から測定対象までの距離を測定することかできる。

(7) 検出手段から測定対象までの距離は、光の発光強度変化の周波数に対する定在波の振幅の変動周期にのみ依存し、発光源によって光を発信してから測定対象に反射して検出手段に戻るまでの時間の影響を受けないので、測定対象までの距離が数 10 センチ以下の近距離であっても、精度よく測定できる。

(8) 検出信号関数を形成させるときに、光の発光強度変化の周波数をランダムに変化させた場合、例えば、M 系列符号等に従い光の発光強度変化の周波数をランダムに変化させれば、距離測定装置同士が、同じタイミングで、同位相かつ光の発光強度変化の周波数が同じである光を発信する確率はほとんどなくなる。よって、他の距離測定装置から発信された光によって測定誤差が著しく増大したり、測定不能となることを防ぐことができる。請求項 6 の発明によれば、以下の (10) に示す効果が得られる。

(10) 受信部が出力した検知信号を同期検波して検波信号を形成し、この検波信号の振幅に対応する検出信号を検波部が出力する。すると、検出信号曲線は、定在波の振幅が極小または極大となる周波数近傍では単調増加又は単調減少、しかも、定在波の振幅が極小または極大となる周波数の前後で、検出信号曲線の検出信号の値の符号が変化する曲線となる。したがって、定在波の振幅が極小または極大となる光の発光強度変化の周波数の検出が正確になり、測定誤差を小さくすることができる。請求項 7 の発明によれば、以下の (11) に示す効果が得られる。

(11) 複数の距離測定装置を同期して作動すれば、同じ時間における測定対象と各距離測定装置の検出手段との間の距離を同時に求めることができる。したがって、各距離測定装置の検出手段同士の相対的な位置が分かっているため、測定対象の空間座標を算出することができ、測定手段と測定対象との相対的な位置関係を 2 次元または 3 次元的に把握することができる。

請求項 8 の発明によれば、以下の (1) ~ (4) に示す効果が得られる。

(1) 発信源から出力された出力信号の周波数を変化させれば、送信手段から放出される電磁波の波長が変化するので、送信手段と測定対象との間の伝搬媒質中に形成される定在波が変化し、検出手段が設けられた位置にお

る定在波の振幅が変化する。このため、出力信号の周波数を変化させれば検出手段が出力する検出信号の値が変化する。出力信号の周波数情報と検出信号の値から、信号処理器によって検出信号関数を形成させることができる。検出手段が設けられた位置における定在波の振幅は、電磁波の周波数、つまり発信源から出力された出力信号の周波数に対して周期的に変化し、その周期は検出手段から測定対象までの距離に対して反比例する。

したがって、信号処理器によって検出信号関数の周期が求められるから、その周期より検出手段から測定対象までの距離が算出することができ、検出手段から測定対象までの距離を測定することができる。

(2) 検出手段から測定対象までの距離は、出力信号の周波数に対する定在波の振幅の変動周期にのみ依存し、送信手段によって電磁波を発信してから測定対象に反射して検出手段に戻るまでの時間の影響を受けないので、測定対象までの距離が数 10 センチ以下の近距離であっても、精度よく測定できる。

(3) 検出信号関数を形成させるときに、出力信号の周波数をランダムに変化させた場合、例えば、M 系列符号等に従い出力信号の周波数をランダムに変化させれば、距離測定装置同士が、同じタイミングで、同位相かつ同じ周波数の電磁波を発信する確率はほとんどなくなる。よって、他の距離測定装置から発信された電磁波によって測定誤差が著しく増大したり、測定不能となることを防ぐことができる。

(4) 検出信号関数をフーリエ変換することによって前記周期を求めれば、複数の測定対象の間に形成された複数の定在波の振幅を同時に測定しても、各定在波に対してそれぞれ周期を求めることができる。よって、複数の測定対象と検出手段との間の距離をそれぞれ測定することができる。

【0007】

【発明の実施の形態】つぎに、本発明の実施形態を図面に基づき説明する。図 1 は、第一実施形態の距離測定装置 10A の概略ブロック図である。同図に示すように、第一実施形態の距離測定装置 10A は、発信源 11、送信手段 12、検出手段 13 および信号処理器 14 から基本構成されており、送信手段 12 と測定対象 M との間に形成される定在波 S を用いて、測定対象 M までの距離を測定するようにしたことが特徴である。

【0008】まず、第一実施形態の距離測定装置 10A を説明する前に、定在波 S について説明する。図 8 は定在波 S の形成を説明する概略説明図である。同図に示すように、電磁波発生器 B1 から周波数 f の電磁波を空気等の伝搬媒質中に放出すると、電磁波は、進行波 D となって伝搬媒質中を進行する。この進行波 D において、電磁波発生器 B1 から距離 x の位置における振幅 VD は、その周波数 f と x の関数として、以下の式で表される。

【0009】

$$VD(f, x) = \exp(j2\pi f/c \cdot x)$$

なお、符号 c は光速を示している。

【0010】やがて、進行波 D が測定対象 M に到達すると、進行波 D が測定対象 M で反射して反射波 R となり、この反射波 R は測定対象 M から電磁波発生器 $B1$ に向かって進行する。この反射波 R において、電磁波発生器 $B1$ から距離 x の位置における振幅 VR は、進行波 D の周波数 f と電磁波発生器 $B1$ からの距離 x の関数として、以下の式で表される。

$$VR(f, x) = MR \cdot \exp(j2\pi f/c \cdot (2d - x)) \quad 10$$

$$(MR = r \cdot \exp(j\phi))$$

なお、符号 MR は、測定対象 M における電磁波の反射係数を示している。

【0012】そして、図 8 (B) に示すように進行波 D と反射波 R が干渉すると、電磁波発生器 $B1$ と測定対象 M との間に定在波 S が形成される。この定在波 S の振幅 SP を、電磁発生器 $B1$ から x_1 だけ測定対象 M に近い検出器 $B2$ で測定すると、検出器 $B2$ が検出する定在波 S の振幅 SP は、進行波 D の周波数 f の関数として以下

$$SP(f, x_1) = (1 + r^2 + 2r \cos(2\pi f/c \cdot 2d_1 + \phi))^{1/2} \quad 20$$

$$(d_1 = d - x_1)$$

【0014】上記のように、検出器 $B2$ が設けられた位置における定在波 S の振幅 SP は、電磁波発生器 $B1$ から発生される進行波 D の周波数 f に対して周期的であって、その周期が $c/2d_1$ となる。つまり、定在波 S の振幅 SP は、検出器 $B2$ から測定対象 M までの距離 d_1 に反比例する。したがって、進行波 D の周波数 f を変化させれば、検出器 $B2$ が設けられた位置において、進行波 D の周期 f に対する定在波 S の振幅 SP の変動周期を求めることができるので、定在波 S によって測定対象 M までの距離を測定できるのである。

【0015】さて、第一実施形態の距離測定装置 10A について説明する。図 1 に示すように、発信源 11A は、発信部 11a と周波数制御部 11b とから構成されており、発信部 11a は、例えば交流電源等、一定の周波数 f の信号を出力できるものである。周波数制御部 11b は、発信部 11a が出力する信号の周波数 f を制御するためのものである。また、周波数制御部 11b は、発信部 11a の発信の発信した周波数 f に関する情報、例えば、発信部 11a が発信した信号の周波数 f の数値や発信部 11a が発信する信号と同じ周波数 f を有する信号等を出力することができるものである。

【0016】前記発信源 11A には、例えばアンテナや増幅器等の送信手段 12A が接続されている。この送信手段 12A は、送信手段 12A と測定対象 M との間に存在する、例えば空気や水等の伝搬媒質中もしくは真空中に、発信源 11A の発信部 11a が発信した信号と同じ周波数 f を有する

電磁波を放出するものである。このため、発信源 11A の周波数制御部 11b によって発信部 11a が発信する信号の周波数 f を変えれば、送信手段 12A から放出される電磁波の周波数を変えることができる。

【0017】前記送信手段 12A と測定対象 M との間には、アンテナや振幅検出器、自乗検波器等の検出手段 13A が設けられている。この検出手段 13A は、送信手段 12A から放出された電磁波（以下、進行波 D という）と、測定対象 M において、反射した反射波とが干渉して形成される定在波 S の振幅 SP を検知するためのものであり、測定対象 M から距離 d_1 の位置に設けられている。この検出手段 13A は、定在波 S の振幅 SP に対応する検出信号、例えば、定在波 S の振幅 SP と同じ、もしくは振幅 SP の自乗に比例した電流や電圧等を出力することができるものである。

【0018】前記検出手段 13A には、信号処理器 14A が接続されている。この信号処理器 14A は、例えばデジタルシグナルプロセッサ (DSP) やメモリ等であり、入力されたデータを記録する記録部と、この記録部に記録されたデータを演算する演算部を備えており、この演算部によって検出手段 13A から測定対象 M までの距離 d_1 を算出することができるものである。また、信号処理器 14A は、前記発信源 11A の周波数制御部 11b にも接続されており、発信源 11A の周波数制御部 11b から発信部 11a の発信した出力信号の周波数 f に関する情報（以下、単に出力信号の周波数情報という）を受けるとともに、検出手段 13A から検出信号を受信したときに、発信源 11A の周波数制御部 11b に受信確認信号を送ることができる。

【0019】なお、第一実施形態の距離測定装置 10A では、送信手段 12A と検出手段 13A を別々に設けているが、1つのアンテナによって送信手段 12A と検出手段 13A とを兼用させてもよい。この場合、装置をコンパクトかつ簡単な構造のものとすることができる。

【0020】つぎに、第一実施形態の距離測定装置 10A の作用と効果を説明する。図 2 (A) は検出信号関数 $A(f, d_1)$ を示した図であり、(B) および (C) は、検出信号関数 $A(f, d_1)$ をフーリエ変換した変換関数 $F(cy)$ を示した図である。図 3 は、距離測定装置 10A によって測定対象 M までの距離を測定する作業のフローチャートである。図 1 ~ 図 3 に示すように、まず、発信源 11A の周波数制御部 11b によって、発信部 11a が発信する信号の初期周波数 f_L および最終周波数 f_U を設定する。そして、周波数制御部 11b によって発信部 11a から周波数 f が初期周波数 f_L である信号を発信させれば、その信号を受けた送信手段 12A から、周波数 f が初期周波数 f_L である進行波 D が、測定対象 M に向けて、伝搬媒質中に放出される。このとき、出力信号の周波数情報が周波数制御部 11b から信号処理器 14A に送信される。

【0021】送信手段 12A から放出された進行波 D は伝

搬媒質中を伝播して、測定対象Mに到達し、この測定対象Mで反射して反射波となり、進行波Dと逆向き、つまり送信手段12Aに向かって伝搬媒質中を伝播する。すると、進行波Dと反射波が干渉して、送信手段12Aと測定対象Mの間における伝搬媒質中に、定在波Sが形成される。

【0022】この定在波Sの振幅SPは、送信手段12Aと測定対象Mの間に設けられた検出手段13Aによって検知され、検出手段13Aが定在波Sの振幅SPに対応する検出信号を信号処理器14Aに送信する。

【0023】検出手段13Aからの検出信号を受けた信号処理器14Aは、記録手段によって検出信号の値Pを周波数制御部11bから送信された出力信号の周波数情報と1対1に対応させて、記録する。同時に、周波数制御部11bに受信確認信号を送信する。

【0024】信号処理器14Aからの受信確認信号を受けた周波数制御部11bは、発信部11aが発信する信号の周波数fをステップ周波数 Δf だけ変化させる。すると、送信手段12Aから放出される進行波Dの周波数fが $f_L + \Delta f$ に変化するが、進行波Dは一定の速度（光速）で伝播するため、進行波Dの波長が変化することになる。したがって、送信手段12Aと測定対象Mとの間における伝搬媒質中に形成される定在波Sが変化し、検出手段13Aが検知する定在波Sの振幅SPが変化するので、検出手段13Aから信号処理器14Aに送られる検出信号の値Pが変化する。この検出信号の値Pは、信号処理器14Aの記録手段によって、発信部11aの出力信号の周波数情報と1対1に対応させて、記録される。そして、再び信号処理器14Aからの受信確認信号を受けると、周波数制御部11bは、発信部11aが発信する信号の周波数fをステップ周波数 Δf 分だけ変化させる

【0025】上記の処理を、発信部11aが発信する信号の周波数fが最終周波数 f_U と一致するまでくり返し、発信部11aが出力する出力信号の周波数fが最終周波数 f_U と一致すると、発信部11aの発信が停止される。

【0026】ついで、信号処理器14Aの演算手段によって、記録手段に記録されている出力信号の周波数情報と検出信号の値Pをから、検出信号関数 $A(f, d_1)$ が形成される。そして、信号処理器14Aの演算手段が、検出信号関数 $A(f, d_1)$ をフーリエ変換することによって、変換関数 $F(cy)$ が形成される。この変換関数 $F(cy)$ は、検出信号関数 $A(f, d_1)$ の周期cyの位置にピークを有する関数となるので、信号処理機14Aによって変換関数 $F(cy)$ から検出信号関数 $A(f, d_1)$ の周期cyを算出することができる。

【0027】前述したように、検出信号関数 $A(f, d_1)$ の周期cy、つまり定在波Sの振幅SPの周期は検出手段13Aから測定対象Mまでの距離 d_1 に対して反比例するので、その周期より検出手段13Aから測定対象Mまでの距離 d_1 を算出することができる。したがって、距

離測定装置10Aは、検出手段13Aから測定対象Mまでの距離 d_1 を測定することができる。

【0028】また、検出手段13Aから測定対象Mまでの距離 d_1 は、出力信号の周波数fに対する定在波Sの振幅SPの周期にのみ依存し、送信手段12Aによって進行波Dを発信してから測定対象Mに反射して検出手段13Aに戻るまでの時間の影響を受けないので、測定対象Mまでの距離 d_1 が数10センチ以下の近距離であっても、精度よく測定できる。

10 【0029】さらに、複数の測定対象Mの間に、複数の定在波Sが形成された場合、検出手段13Aが発信する検出信号は、複数の定在波Sの振幅SPが合成された値に対応するものとなる。すると、信号処理器14Aの演算手段が形成する検出信号関数 $A(f, d_1)$ は、検出手段13Aの位置における複数の定在波Sの振幅SPの変動を示す関数が合成された合成関数となるが、検出信号関数 $A(f, d_1)$ をフーリエ変換することによって形成される変換関数 $F(cy)$ は、各定在波Sの周期においてそれぞれ極大値を有する関数となる（図2（C）参考）。したがって、複数の定在波Sの振幅SPの変動周期をそれぞれ求めることができるので、複数の測定対象Mと検出手段13Aとの間の距離xを、それぞれ測定することができる。

20 【0030】さらに、発信部11aが出力する出力信号の周波数fを初期周波数 f_L から最終周波数 f_U までステップ周波数 Δf ごとに直線的に変化させるかわりに、初期周波数 f_L と最終周波数 f_U 間で出力信号の周波数fをランダムに変化させて、各周波数fにおける定在波Sの振幅SPを測定してもよい。この場合であっても、出力信号の周波数fと定在波Sの振幅SPを対応させることができるので、信号処理器14Aの演算手段によって検出信号関数 $A(f, d_1)$ を形成することができる。この場合、次のような効果が得られる。例えば、M系列符号等に従い出力信号の周波数fをランダムに変化させれば、距離測定装置10A同士が、同じタイミングで、同位相かつ同じ周波数fの電磁波を発信する確率はほとんどなくなる。そして、定在波Sの振幅SPは同一周波数の成分によって生じるものであるため、たとえ検出手段13Aが他の距離測定装置が発信した電磁波を受信しても、その信号成分は低域通過フィルタ等により容易に除去可能である。よって、他の距離測定装置から発信された電磁波によって測定誤差が著しく増大したり、測定不能となることを防ぐことができる。

40 【0031】また、信号処理器14Aの演算手段によって、検出信号関数 $A(f, d_1)$ の周期を求める代わりに、検出信号関数 $A(f, d_1)$ が極大極小となる出力信号の周期数fを2以上求めて、それらの周波数fから測定対象Mと送信手段12Aとの間の距離xを求めてもよい。

50 【0032】図4に示すように、信号処理器14Aによ

て検出信号関数 $A(f, d_1)$ を形成した後、信号処理器14Aによって検出信号関数 $A(f, d_1)$ が極小または極大となる2以上の周波数 $f_n \sim f_{n+k}$ を検出する。ついで、この2以上の周波数 $f_n \sim f_{n+k}$ のうち、2つの選択周波数 f_n, f_{n+k} を選択する。そして、この2つの選択周波数 f_n, f_{n+k} の間に形成される極小または極大となる周波数の数 $k-1$ を算出する。すると、検出手段13Aと測定対象Mとの間の距離 d_1 は、以下の式によって求められる。

$$【0033】 d_1 = k \cdot c / (4 \cdot (f_{N+K} - f_N))$$

【0034】つまり、2つの選択周波数 f_n, f_{n+k} と、この2つの選択周波数 f_n, f_{n+k} の間に形成される極小または極大となる周波数の数 $k-1$ を算出することによって、検出手段13Aから測定対象Mまでの距離を測定することかできる。

【0035】つぎに、第二実施形態の距離測定装置10Bを説明する。図5は第二実施形態の距離測定装置10Bの概略ブロック図である。同図に示すように、第二実施形態の距離測定装置10Bは、発信源11B、送信手段12B、検出手段13Bおよび信号処理器14Bに加えて、変調器20を設け、信号処理器14Bが検出信号関数 $A(f, d_1)$ の極大または極小となる発信部11aの出力信号の周波数 f を検出する精度を高くしたことが特徴である。

【0036】図5に示すように、発信源11Bにおいて、発信部11aと周波数制御部11bとの間には、変調器20が設けられている。この変調器20は、周波数制御部11bが発信部11aから出力させる周波数 f を設定した場合、発信部11aからはこの周波数 f を中心周波数として周期的に変動する信号を出力させるためのものである。つまり、発信部11aの出力信号に周波数変調を加えるためのものである。また、この変調器20は、検出手段13Bに、変調信号を出力することができる。この変調信号とは、周波数変調された発信部11aの出力信号において、周波数制御部11bが設定した周波数 f に対して周期的に変動する変動成分の信号である。

【0037】前記検出手段13には、受信部13aと検波部13bが設けられている。受信部13aは、定在波Sの振幅SPを検出し、その振幅SPに対応した振幅を有する検知信号を出力するものである。この受信部13aには、検波部13bが接続されている。この検波部13bは、前記変調器20からの変調信号および受信部13aからの検知信号を記録する記録部と、この記録部に記録された検知信号を変調信号を用いて同期検波して検波信号を形成し、この検波信号の振幅に対応する検出信号を出力する演算する演算部を備えている。また、検波部13bは、前記受信部13aからの検知信号を受けると、変調器20に受信確認信号を送ることができる。

【0038】なお、第一実施形態の距離測定装置10Aと同様に、第二実施形態の距離測定装置10Bにおいても、送信手段12Bと検出手段13Bを別々に設けているが、1つ

のアンテナによって送信手段12Bと検出手段13Bとを兼用させてもよい。この場合、装置をコンパクトかつ簡単な構造のものとすることができる。

【0039】つぎに、第二実施形態の距離測定装置10Bの作用と効果を説明する。なお、周波数変調を行う作業以外は、第一実施形態の距離測定装置10Aにおいて、信号処理器14が検出信号関数 $A(f, d_1)$ の極大極小を求める場合と同じであるので、以下には周波数変調を行う作業のみを説明する。

10 【0040】図6(A)は、出力信号の周波数と、受信部13Bの位置における定在波Sの振幅SPの関係を示した図であり、(B)は検波部13bが出力した検出信号と発信部11aが出力した信号の周波数 f から形成される検出信号関数 $A(f, d_1)$ を示した図である。図7は距離測定装置10Bによって測定対象Mまでの距離を測定する作業のフローチャートである。

【0041】図5～図7に示すように、まず、周波数制御部11bが設定した周波数が周波数 f である場合、変調器20によって周波数変調が加えられ、発信部11aからは、周波数 f が $f + f_d \cos \theta$ ($\theta = 0$) である信号が発信され、その信号を受けた送信手段12Bから、周波数 f が初期周波数 $f + f_d \cos \theta$ ($\theta = 0$) である進行波Dが、測定対象Mに向けて、伝搬媒質中に放出される。このとき、出力信号の周波数変調情報が変調器20から検出手段13Bの検波部13bに送信される。

【0042】すると、送信手段12Bと測定対象Mの間に定在波Sが形成され、検出手段13Bの受信部13aが、その位置における定在波Sの振幅SPを検知して、この定在波Sの振幅SPに対応する検知信号を検波部13bに送信する。

【0043】受信部13aからの検知信号を受けた検波部13bは、その値を変調器20から送信された出力信号の周波数変調情報と1対1に対応させて、記録する。同時に、変調器20に受信確認信号を送信する。

【0044】検出手段13Bの検波部13bからの受信確認信号を受けた変調器20は、発信部11aが発信する信号の周波数 f を $f + f_d \cos \theta$ ($\theta = \theta + d\theta$) に変化させる。すると、送信手段12から放出される進行波Dの周波数 f が $f + f_d \cos \theta$ ($\theta = \theta + d\theta$) に変化するので、検出手段13Bの受信部13aが検知する定在波Sの振幅SPが変化するので、検出手段13Bの受信部13aから検波部13bに送られる検知信号の値が変化する。この検知信号は、検波部13bの記録手段によって、発信部11aの出力信号の周波数変調情報と1対1に対応させて、記録手段によって記録される。そして、再び検出手段13Bの検波部13bからの受信確認信号を受けると、変調器20は、発信部11aが発信する信号の周波数 f を $f + f_d \cos \theta$ ($\theta = \theta + 2d\theta$) に変化させる。

【0045】上記の処理を、発信 $\theta = 2\pi$ となるまでくり返す。そして、 $\theta = 2\pi$ となると、検波部13bの演算

手段が、記録された検知信号を周波数変調情報を用いて検知信号を同期検波して検波信号を形成する。そして、検波部13bはこの検波信号の振幅に対応する検出信号を信号処理器14Bに出力するので、この検出信号は、発信源11Bの周波数制御部11bから信号処理器14Bに送られた周波数情報と1対1に対応させて、信号処理器14Bの記録手段に記録される。

【0046】そして、周波数制御部11bが発信部11aに発信させる周波数を初期周波数 f_L から最終周波数 f_U まで変化させれば、信号処理器14Bによって、検出信号周期 $A(f, d_1)$ が形成される。

【0047】図6(B)に示すように、この検知信号関数は、定在波Sの振幅SPが極小または極大となる周波数近傍では単調増加又は単調減少、しかも、定在波Sの振幅SPが極小または極大となる周波数の前後で、検出信号曲線 $A(f, d_1)$ の検知信号の値Pの符号が変化する曲線となる。したがって、第二実施形態の距離測定装置10Bによれば、定在波Sの振幅SPが極小または極大となる周波数 f の検出が正確になり、測定誤差を小さくすることができる。

【0048】また、前述の距離測定装置10による距離測定方法を応用すれば、ロボットやNCマシン等の産業機械において、作業を行う装置までの距離を測定することも可能である。図9において、符号Lは、作業を行う装置などに信号を送信する、例えばマイクロスプリットライン等の複数本の電線が平行に設けられた伝送線路を示している。この伝送線路Lの近傍には、作業を行う装置等の測定対象M1、M2が配設されている。この測定対象M1、M2に金属片等を設けておき、この金属片等を伝送線路Lに近づけておく。そして、伝送線路Lに、信号源抵抗RSを通して、発信源11Cとなる交流電源から交流電流を供給する。すると、金属片が近づけられた位置、つまり測定対象M1、M2の位置では、交流電流が形成する電場が乱れるので、測定対象M1、M2の位置と信号源抵抗RSとの間には定在波Sが形成される。このため、発信源11Cとなる交流電源の周波数を変化させて、自乗検波器等の検出手段13Cによって交流電流の電力を検知すれば、信号処理機14Cによって検出手段13Cから測定対象M1、M2までの伝送線路Lに沿った長さを測定することができる。しかも、定在波Sは、曲がった伝送線路Lに沿って形成されるため、伝送線路Lが曲がっていても、信号源抵抗RSから測定対象M1、M2までの伝送線路Lに沿った長さを正確に求めることができる。さらに、伝送線路Lの終端抵抗Rtを不整合状態にして、伝送線路Lの終端と信号源抵抗RSとの間に定在波Sを形成すれば、伝送線路Lの全長も定在波Sによって計測されることができる。したがって、伝送線路Lの全長がわかっているならば、定在波Sによって計測された伝送線路Lの全長と、実際の伝送線路Lの全長によって、検出手段13Cから測定対象M1、M2までの伝送線

路Lに沿った長さを補正することができるので、測定結果が正確になる。

【0049】つぎに、第三実施形態の距離測定装置10Dを説明する。図10は第三実施形態の距離測定装置10Dのブロック図である。同図に示すように、発信源11D、分光手段31、反射用ミラー32、検出手段13Dおよび信号処理器14Dから基本構成されており、第一、第二実施形態の距離測定装置10A、10Bと異なり、発信源11Dが発信する光の強度を周期的に変化させて、分光手段31と検出手段13Dの間に形成される定在波Sによって、測定対象Mまでの距離を測定するようにしたことが特徴である。なお、検出手段13Dによって検知された検出信号から、検出手段13Dと測定対象Mまでの距離を算出する方法は、前述の第一実施形態の距離測定装置10Aと同様であるので、以下には第三実施形態の距離測定装置10Dの構成のみを説明する。

【0050】図10に示すように、発信源11Dは、発信部11aと周波数制御部11bとから構成されており、発信部11aは、例えばレーザや発光ダイオード等、発信する光の発光強度を、その強度変化が一定の周波数 f となるように出力することができるものである。周波数制御部11bは、発信部11aが出力する光の発光強度変化の周波数 f を制御するためのものである。また、周波数制御部11bは、発信部11aの発信の発光した光の発光強度変化の周波数 f に関する情報、例えば、発信部11aが発信した光の発光強度変化の周波数 f の数値や発信部11aが発信する光の発光強度変化の周波数 f と同じ周波数 f を有する信号等を出力することができるものである。

【0051】発信源11Dの発信部11aと測定対象Mの間には、例えばビームスプリッタ等の分光手段31が設けられている。この分光手段31は、発信源11Dの発信部11aから発信された光を2つに分光し、分光された一方の光を測定対象Mとの間に存在する伝搬媒質中に放出するものである。分光された他方の光は、後述する反射用ミラー32に供給される。また、分光手段31は、測定対象Mで反射して戻ってきた反射光を、後述する検出手段13Dに向けて反射することができる。

【0052】前記分光手段31の側方には、反射用ミラーが設けられている。この反射用ミラー32は、前記分光手段31によって分光された他方の光の光を再び分光手段31に向けて反射するものである。この反射用ミラー32によって反射された光は、分光手段31を透過し、後述する検出手段13Dに向けて進行する。このため、分光手段31と後述する検出手段13Dとの間において、測定対象Mで反射して戻ってきた反射光と反射用ミラー32によって反射された光とが干渉し、分光手段31と後述する検出手段13Dとの間に定在波Sが形成されるのである。

【0053】前記分光手段31の側方において、分光手段31を挟んで前記反射用ミラーと線対称の位置には検

出手段13D が設けられている。この検出手段13Dは、測定対象Mで反射して戻ってきた反射光と反射用ミラー32によって反射された光とが干渉して形成される定在波Sの振幅SPを検知するためのものである。この検出手段13Dは、定在波Sの振幅SPに対応する検出信号、例えば、定在波Sの振幅SPの発光強度を検知して発光強度を電圧に変換して検知信号を出力するフォトディテクターを備えており、このフォトディテクターから出力される検知信号は、定在波Sの振幅SPと同じもしくは振幅SPの自乗に比例した電流や電圧等を出力することができるものである。

【0054】前記検出手段13Dには、信号処理器14Dが接続されている。この信号処理器14Dは、例えばデジタルシグナルプロセッサ(DSP)やメモリ等であり、入力されたデータを記録する記録部と、この記録部に記録されたデータを演算する演算部を備えており、この演算部によって分光手段31から測定対象Mまでの距離dを算出することができるものである。また、信号処理器14Dは、前記発信源11Dの周波数制御部11bにも接続されており、発信源11Dの周波数制御部11bから発信部11aの発信した出力信号の周波数fに関する情報(以下、単に出力信号の周波数情報という)を受けるとともに、検出手段13Dから検出信号を受信したときに、発信源11Dの周波数制御部11bに受信確認信号を送ることができる。

【0055】したがって、第三実施形態の距離測定装置10Dによれば、第一実施形態の距離測定装置10Dと同様に、分光手段31から測定対象Mまでの距離dを測定することができる。また、測定対象Mまでの距離xが数10センチ以下の近距離であっても、精度よく測定できる。さらに、発信部11aが出力する出力信号の周波数fを、初期周波数 f_L と最終周波数 f_U 間でランダムに変化させれば、他の距離測定装置から発信された光によって測定誤差が著しく増大したり、測定不能となることを防ぐことができる。さらに、複数の定在波Sの振幅SPの変動周期をそれぞれ求めることができるので、複数の測定対象Mと分光手段31との間の距離dを、それぞれ測定することができる。

【0056】なお、信号処理器14Dの演算手段によって、検出信号関数 $A(f, d_1)$ が極大極小となる出力信号の周期数fを2以上求めて、それらの周波数 f_L から測定対象Mと分光手段31との間の距離dを求める場合、初期周波数 f_L を0Hzとして、任意の最終周波数 f_U まで出力信号の周期数fを変化させてもよい。この場合、検出信号関数 $A(f, d_1)$ において、出力信号の周期数fが0の場合には必ず検出信号関数 $A(f, d_1)$ は極大となる。したがって、初期周波数 f_L から最終周波数 f_U の間において、検出信号関数 $A(f, d_1)$ が極大となる出力信号の周期数fを1つだけ求めるだけで、その周波数fと初期周波数 f_L とを用いて、測定対象Mと分光手段31との間の距離dを求めることができ

る。

【0057】さらになお、第二実施形態の距離測定装置10Bと同様に、発信する発光強度に周波数変調を加える変調器を設ければ、定在波の振幅が極小または極大となる周波数の検出が正確になり、測定誤差を小さくすることができる。

【0058】つぎに、本実施形態の距離測定設備1を説明する。図11は本実施形態の距離測定設備1のブロック図である。同図に示すように、本実施形態の距離測定設備1は、複数の前記距離測定装置10を備えている。この複数の距離測定装置10には、制御装置3が接続されている。この制御装置3は、前記複数の距離測定装置10を同期して作動させるためのものであり、各距離測定装置10から、電磁波を伝搬媒質中に同時に放出させることができる。また、複数の距離測定装置10には、演算装置2が接続されている。この演算装置2には、各距離測定装置10の信号処理器14が算出した検出手段13と測定対象Mとの間の距離xが入力されるものであり、この入力された各測定装置10における検出手段13と測定対象Mとの間の距離および各距離測定装置10の検出手段13同士の相対的な位置とから測定対象Mの空間座標を算出することができる。

【0059】つぎに、本実施形態の距離測定設備1の作用と効果を説明する。図12(A)は本実施形態の距離測定設備1による位置測定方法の概略説明図であり、図12(B)は位置を算出するために使用される式である。同図に示すように、制御装置3によって、2つの距離測定装置10を同期し、同時に電磁波を発信させる。すると、各距離測定装置10と測定対象Mとの間に定在波S1、S2が形成され、各距離測定装置10から測定対象Mまでの距離 d_1 、 d_2 が算出される。この各距離測定装置10から測定対象Mまでの距離 d_1 、 d_2 が、演算装置2に入力される。図12(A)に示すように、各距離測定装置10同士の距離はrであるから、両者の中間位置から測定対象までの距離dが算出され、両者の二等分線と、前記中間位置と測定対象Mを結ぶ線分とのなす角度 θ が算出される。

【0060】したがって、各距離測定装置10の中間位置から測定対象までの距離dと、前記中間位置と測定対象Mを結ぶ線分とのなす角度 θ を用いれば、各距離測定装置10と前記測定対象Mが存在する平面における、各距離測定装置10と前記測定対象Mの相対的な位置を把握することができる。なお、各距離測定装置10を3つ設ければ、各距離測定装置10と測定対象Mとの相対的な位置関係を3次元的に把握することができる。

【0061】

【発明の効果】請求項1の発明によれば、定在波を用いて検出手段から測定対象までの距離を測定することができ、検出手段から測定対象までの距離が数10センチ以下の近距離であっても、精度よく測定でき、複数の距離測

定装置を同時に使用しても測定誤差が著しく増大したり、測定不能となることを防ぐことができる。また、複数の測定対象と検出手段との間の距離をそれぞれ測定することができる。請求項2の発明によれば、定在波を用いて検出手段から測定対象までの距離を測定することかでき、検出手段から測定対象までの距離が数10センチ以下の近距離であっても、精度よく測定でき、複数の離測定装置を同時に使用しても測定誤差が著しく増大したり、測定不能となることを防ぐことができる。請求項3の発明によれば、定在波の振幅が極小または極大となる周波数の検出が正確になり、測定誤差を小さくすることができる。請求項4の発明によれば、定在波を用いて検出手段から測定対象までの距離を測定することができ、検出手段から測定対象までの距離が数10センチ以下の近距離であっても、精度よく測定でき、複数の離測定装置を同時に使用しても測定誤差が著しく増大したり、測定不能となることを防ぐことができる。また、複数の測定対象と検出手段との間の距離をそれぞれ測定することができる。請求項5の発明によれば、定在波を用いて検出手段から測定対象までの距離を測定することかでき、検出手段から測定対象までの距離が数10センチ以下の近距離であっても、精度よく測定でき、複数の離測定装置を同時に使用しても測定誤差が著しく増大したり、測定不能となることを防ぐことができる。請求項6の発明によれば、定在波の振幅が極小または極大となる周波数の検出が正確になり、測定誤差を小さくすることができる。請求項7の発明によれば、測定対象の空間座標を算出することができ、測定手段と測定対象との相対的な位置関係を2次元または3次的に把握することができる。請求項8の発明によれば、定在波を用いて検出手段から測定対象までの距離を測定することができ、検出手段から測定対象までの距離が数10センチ以下の近距離であっても、精度よく測定でき、複数の離測定装置を同時に使用しても測定誤差が著しく増大したり、測定不能となることを防ぐことができる。また、複数の測定対象と検出手段との間の距離をそれぞれ測定することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第一実施形態の距離測定装置10Aの概略ブロック図である。

【図2】(A)は検出信号関数 $A(f, d_1)$ を示した図であり、(B)および(C)は、検出信号関数 $A(f, d_1)$ をフーリエ変換した変換関数 $F(cy)$ を示した図である。

【図3】距離測定装置10Aによって測定対象Mまでの距離を測定する作業のフローチャートである。

【図4】距離測定装置10Aによって測定対象Mまでの距離を測定する作業のフローチャートである。

10 【図5】第二実施形態の距離測定装置10Bの概略ブロック図である。

【図6】(A)は、出力信号の周波数と、受信部13Bの位置における定在波Sの振幅SPの関係を示した図であり、(B)は検波部13bが出力した検出信号と発信部11aが出力した信号の周波数fから形成される検出信号関数 $A(f, d_1)$ を示した図である。

【図7】距離測定装置10Bによって測定対象Mまでの距離を測定する作業のフローチャートである。

【図8】定在波Sの形成を説明する概略説明図である。

20 【図9】伝送線路Lに沿った距離を測定する距離測定装置10Cの概略説明図である。

【図10】第三実施形態の距離測定装置10Dのブロック図である。

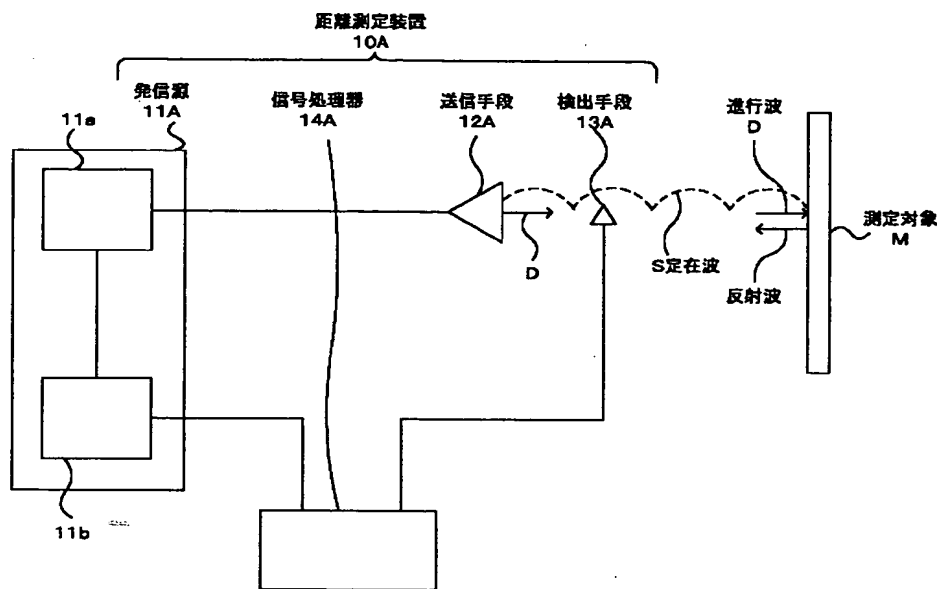
【図11】本実施形態の距離測定設備1のブロック図である。

【図12】(A)は本実施形態の距離測定設備1による位置測定方法の概略説明図であり、(B)は位置を算出するために使用される式である。

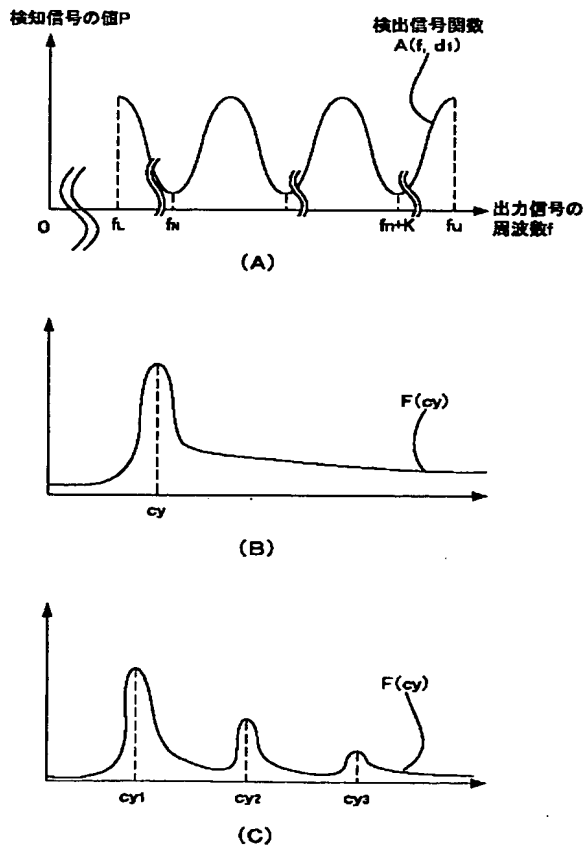
【符号の説明】

1	距離測定設備
2	演算装置
3	制御装置
10	距離測定装置
11	発信源
12	送信手段
13	検出手段
14	信号処理器
20	変調器
31	分光手段
M	測定対象
40 S	定在波

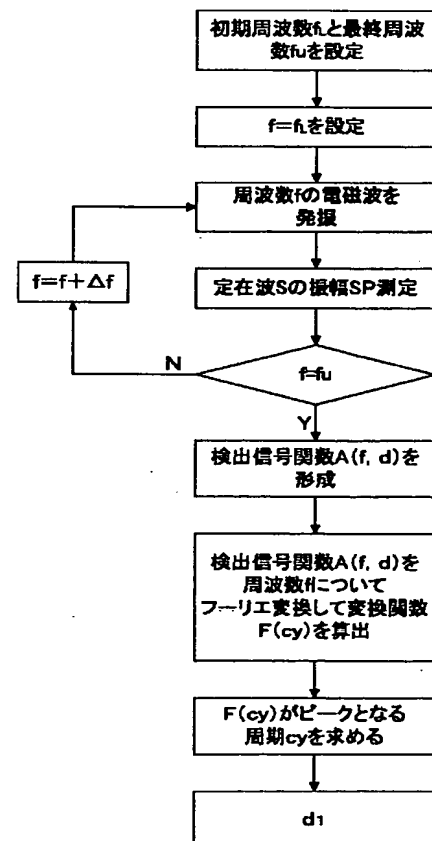
【図1】



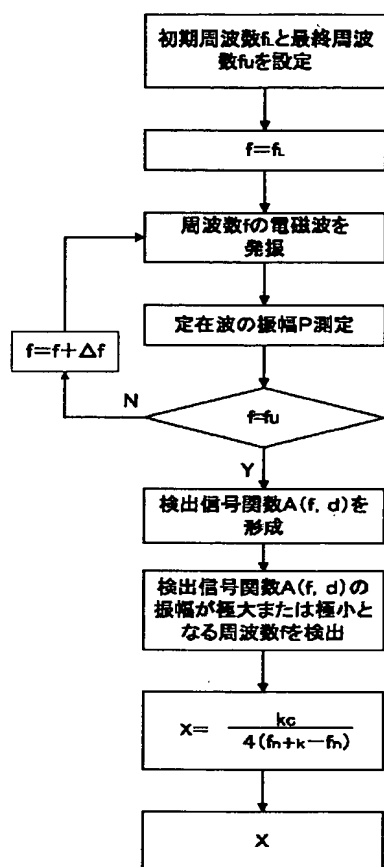
【図2】



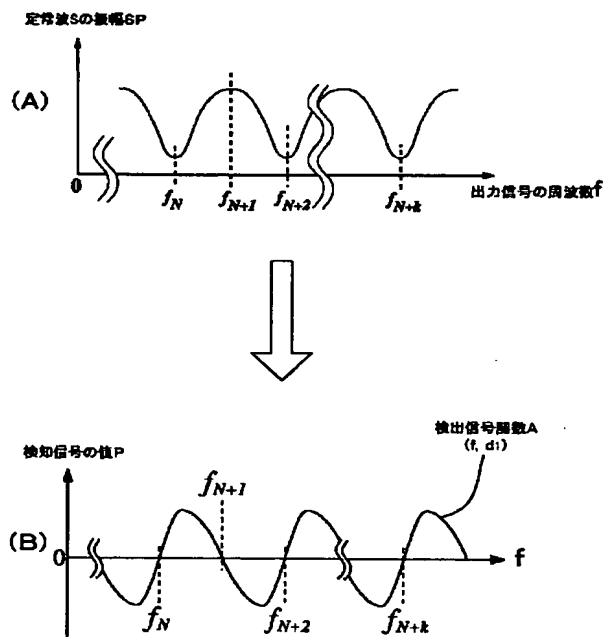
【図3】



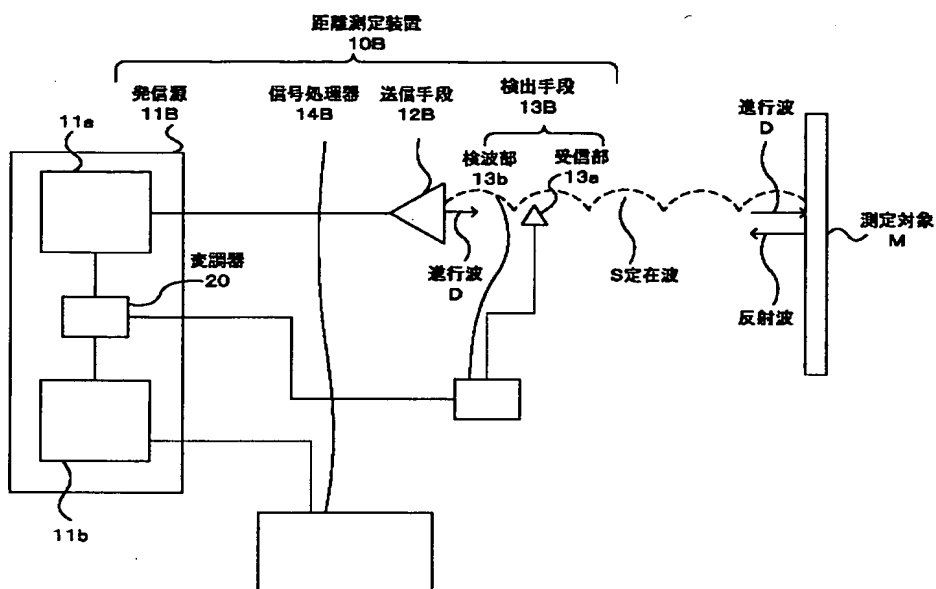
【図4】



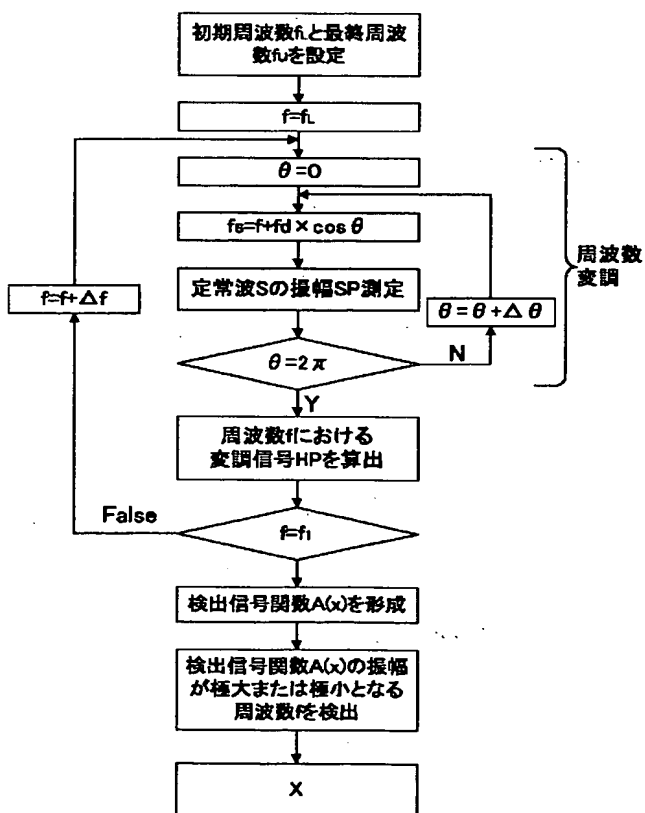
【図6】



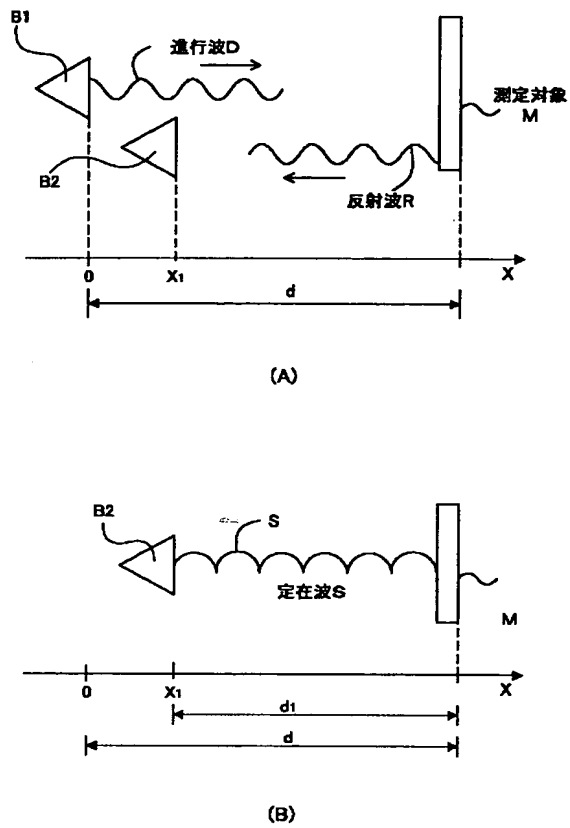
【図5】



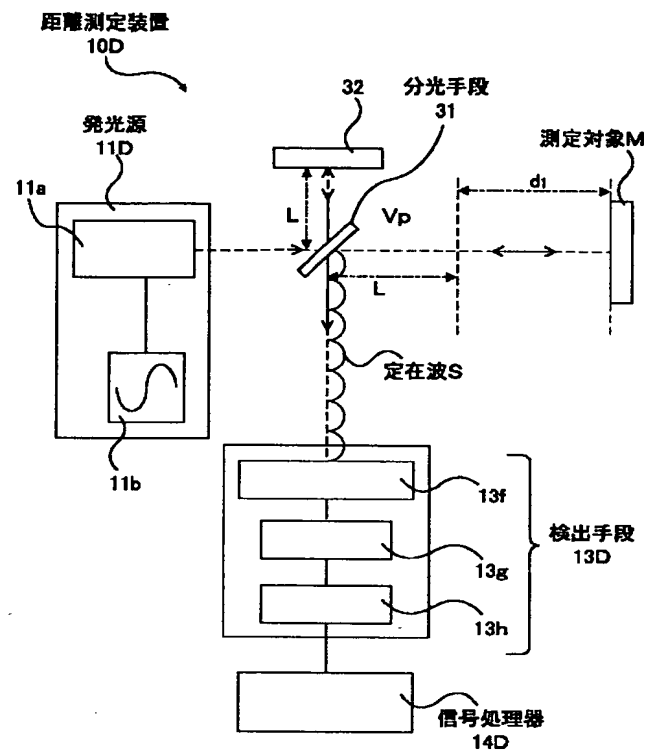
【図7】



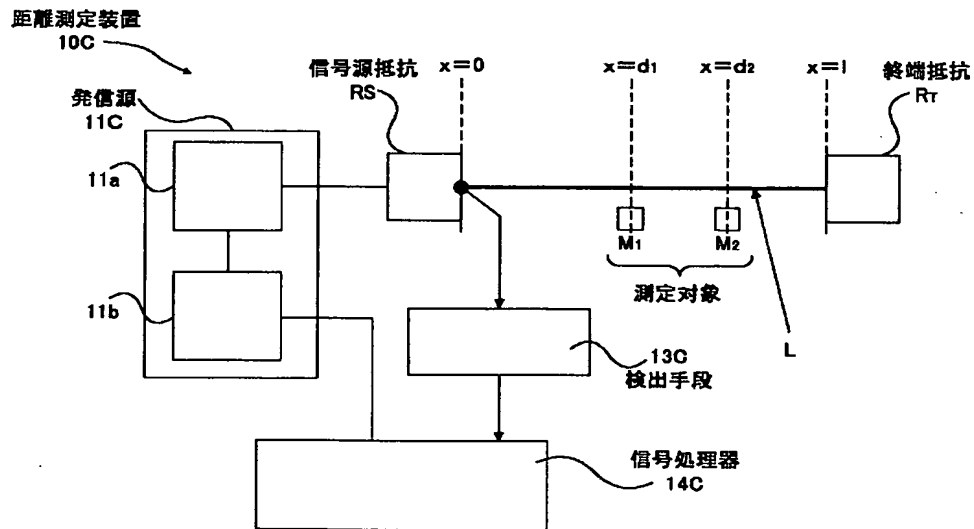
【図8】



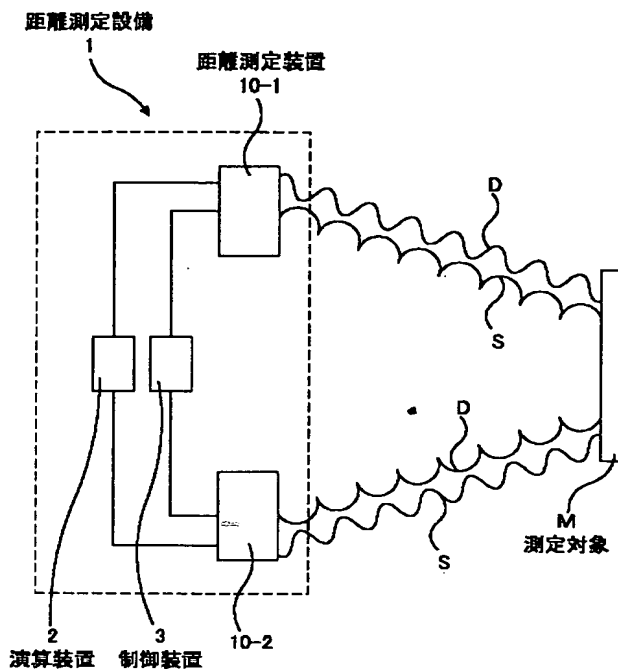
【図10】



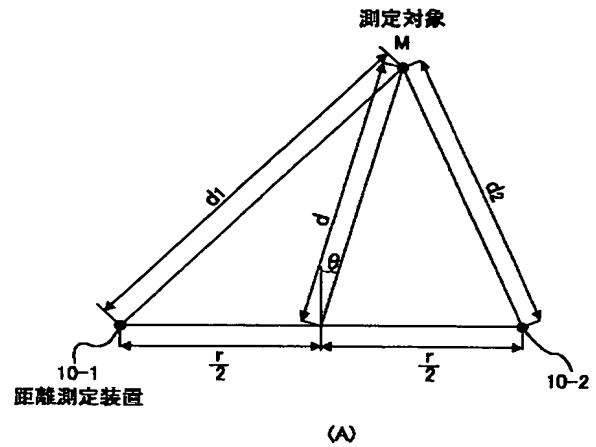
【図9】



【図 11】



【図 12】



$$(1) \quad d = \sqrt{\frac{d_1^2}{2} + \frac{d_2^2}{2} - r^2}$$

$$(2) \quad \sin \theta = \frac{d_2^2 - d_1^2}{4rd}$$

(B)

【手続補正書】

【提出日】平成 14 年 8 月 23 日（2002. 8. 23）

【手続補正 1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正内容】

【書類名】明細書

【発明の名称】距離測定装置、距離測定設備および距離測定方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】測定対象までの距離を測定するための測定装置であって、該測定装置が、出力信号の周波数が可変である発信源と、該発信源に接続され、該発信源から出力された出力信号の周波数と同一の周波数を有する電磁波を、前記測定対象との間に存在する伝搬媒質に放出する送信手段と、該送信手段と前記測定対象との間に設けられ、該送信手段と前記測定対象との間において、前記伝搬媒質中に形成される定在波の振幅を検知し、検知した定在波の振幅に対応する検出信号を出力する検出手段と、該検出手段が発信した検出信号および前記発信源から

ら発信された出力信号の周波数情報が入力され、前記出力信号の周波数に対する前記検出信号の値を示す検出信号関数を形成し、その周期から前記検出手段と前記測定対象との間の距離を算出する信号処理器とからなることを特徴とする距離測定装置。

【請求項 2】測定対象までの距離を測定するための測定装置であって、該測定装置が、出力信号の周波数が可変である発信源と、該発信源に接続され、該発信源から出力された出力信号の周波数と同一の周波数を有する電磁波を、前記測定対象との間に存在する伝搬媒質に放出する送信手段と、該送信手段と前記測定対象との間に設けられ、該送信手段と前記測定対象との間において、前記伝搬媒質中に形成される定在波の振幅を検知し、検知した定在波の振幅に対応する検出信号を出力する検出手段と、該検出手段が発信した検出信号および前記発信源から発信された出力信号の周波数情報が入力され、前記出力信号の周波数に対する前記検出信号の値を示す検出信号関数を形成し、該検出信号関数が極大または極小となる少なくとも 2 以上の出力信号の周波数を検出し、該 2 以上の出力信号の周波数のうち 2 つの選択周波数と、該 2 つの選択周波数の間における極大または極小となる出

力信号の周波数の数とから前記検出手段と前記測定対象との間の距離を算出する信号処理器とからなることを特徴とする距離測定装置。

【請求項 3】前記発信源から出力される出力信号を周波数変調させるための変調器が設けられており、前記検出手段が、前記定在波の振幅を検出し、その振幅に対応した振幅を有する検知信号を出力する受信部と、前記変調器から変調信号が入力され、該変調信号によって前記検知信号を同期検波して検波信号を形成し、該検波信号の振幅に対応する検出信号を出力する検波部とを備えたことを特徴とする請求項 2 記載の距離測定装置。

【請求項 4】測定対象までの距離を測定するための測定装置であって、該測定装置が、周期的に発光強度が変化する光を発信し、その周波数が可変である発光源と、該発光源と前記測定対象との間において、前記伝搬媒質中に形成される定在波の振幅を検知し、検知した定在波の振幅に対応する検出信号を出力する検出手段と、該検出手段が発信した検出信号および前記発光源から発信された光の発光強度変化の周波数情報が入力され、該光の発光強度変化の周波数に対する検出信号の値を示す検出信号関数を形成し、その周期から前記検出手段と前記測定対象との間の距離を算出する信号処理器とからなることを特徴とする距離測定装置。

【請求項 5】測定対象までの距離を測定するための測定装置であって、該測定装置が、周期的に発光強度が変化する光を発信し、その周波数が可変である発光源と、該発光源と前記測定対象との間において、前記伝搬媒質中に形成される定在波の振幅を検知し、検知した定在波の振幅に対応する検出信号を出力する検出手段と、該検出手段が発信した検出信号および前記発光源から発信された光の発光強度変化の周波数情報が入力され、該光の発光強度変化の周波数に対する検出信号の値を示す検出信号関数を形成し、該検出信号関数が極大または極小となる少なくとも 2 以上の発光強度変化の周波数を検出し、該 2 以上の発光強度変化の周波数のうち 2 つの選択周波数と、該 2 つの選択周波数の間における極大または極小となる出力信号の周波数の数とから前記検出手段と前記測定対象との間の距離を算出する信号処理器とからなることを特徴とする距離測定装置。

【請求項 6】前記発光源から発信された光を 2 つに分光し、分光された一方の光を前記測定対象との間に存在する伝搬媒質に放出し、測定対象で反射した一方の光を検出手段に送る分光手段と、分光された他方の光を検出手段に送る反射用ミラーを備えていることを特徴とする請求項 4 または 5 記載の距離測定装置。

【請求項 7】前記発光源が発信する光の発光強度変化を周波数変調させるための変調器が設けられており、前記検出手段が、前記定在波の振幅を検出し、その振幅に対応した振幅を有する検知信号を出力する受信部と、前記変調器から変調信号が入力され、該変調信号によって前

記検知信号を同期検波して検波信号を形成し、該検波信号の振幅に対応する検出信号を出力する検波部とを備えたことを特徴とする請求項 5 記載の距離測定装置。

【請求項 8】測定対象の空間座標を検出することができる測定設備であって、該測定設備が、複数の請求項 1、2、3、4、5、6 または 7 記載の距離測定装置と、該複数の距離測定装置を、同期して作動させる制御装置とからなり、各距離測定装置の信号処理器が算出した検出手段と前記測定対象との間の距離が入力され、入力された各測定装置における検出手段と前記測定対象との間の距離と、各距離測定装置の検出手段同士の相対的な位置とから測定対象の空間座標を算出する演算装置とからなることを特徴とする距離測定設備。

【請求項 9】測定対象までの距離を測定するための測定方法であって、送信手段によって、送信手段と測定対象の間に存在する伝搬媒質に電磁波を放出して、前記送信手段と測定対象との間において、伝搬媒質中に定在波を形成させ、前記送信手段と前記測定対象の間における一定の位置において、検出手段によって、前記定在波の振幅を検出し、前記送信手段が放出する電磁波の周波数を変化させて、該周波数に対する前記定在波の振幅を示す振幅曲線を形成し、該振幅曲線の周期から、前記検出手段と前記測定対象との間の距離を算出することを特徴とする距離測定方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、距離測定装置に関する。アンテナや発光器から発信された電波や光等の波（進行波）は、その進行方向に測定対象があると、その測定対象で反射して進行波と逆向きに進む反射波となる。このため、アンテナ等から連続して電波等を出力すると、進行波と反射波が干渉して、アンテナと測定対象との間には定在波が形成される。本発明は上記のような定在波を用いて、測定対象までの距離を測定する距離測定装置、距離測定設備および距離測定方法に関する。

【0002】

【従来の技術】電波を利用した距離決定装置としては、マイクロ波やミリ波を用いた電波レーダが一般によく知られている。電波レーダは方式によりパルスレーダ、FMCWレーダ等に分けられる。また、最近ではスペクトル拡散レーダあるいはCDMAレーダも見られる。パルスレーダは、パルス信号を発信してからそれが測定対象で反射し戻ってくるまでの時間を計測することにより測定対象までの距離を求めるものである。また、スペクトル拡散レーダやCDMAレーダも基本的にはパルスレーダ同様、測定対象までの往復の伝搬時間に基づき距離を測定するものである。FMCWレーダは、周波数掃引した連続波を発信し発信信号と反射信号の周波数差から測定対象までの距離を求めるものである。この方式は測定対象の移動速度も同時に測定することができるという特

徴がある。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかるに、これらのレーダでは一般的に近距離の測定が難しく、最小探知距離は数10m以上であるという問題がある。また、その他のレーダとしてはドップラレーダがあり、このドップラレーダは構造が簡単で近距離対象の測定も可能であるが、停止している測定対象までの距離を測定することはできないという問題がある。さらに、従来のレーダでは、複数のレーダを近くで同時に使用した場合、受信器が他のレーダから発信された信号を受信することを避ける手段がなく、測定誤差が著しく増大したり、測定ができなくなるという問題がある。一方、現在、車に対する障害物、特に歩行者との衝突を回避するために、障害物を検出し、その障害物と車の間の距離を測定する車載レーダが検討されている。この車載レーダは、最小探知距離が数10cm以下かつ相対的に停止している測定対象との間の距離の測定が必要であり、しかも他の車の車載レーダの発信信号の影響を受けることなく距離測定を行えなければならない。しかし、従来のレーダでは、この3つの条件を満たすことができない。したがって、上記の3つの条件を満たすレーダが求められている。

【0004】本発明はかかる事情に鑑み、近距離であっても精度良い距離測定が可能であり、複数の測定対象の距離を同時に測定することができ、測定対象の空間座標を検知することができる距離測定装置、距離測定設備および距離測定方法を提供することを目的とする。

【0005】

【課題を解決するための手段】請求項1の距離測定装置は、測定対象までの距離を測定するための測定装置であって、該測定装置が、出力信号の周波数が可変である発信源と、該発信源に接続され、該発信源から出力された出力信号の周波数と同一の周波数を有する電磁波を、前記測定対象との間に存在する伝搬媒質に放出する送信手段と、該送信手段と前記測定対象との間に設けられ、該送信手段と前記測定対象との間において、前記伝搬媒質中に形成される定在波の振幅を検知し、検知した定在波の振幅に対応する検出信号を出力する検出手段と、該検出手段が発信した検出信号および前記発信源から発信された出力信号の周波数情報が入力され、前記出力信号の周波数に対する前記検出信号の値を示す検出信号関数を形成し、その周期から前記検出手段と前記測定対象との間の距離を算出する信号処理器とからなることを特徴とする。請求項2の距離測定装置は、測定対象までの距離を測定するための測定装置であって、該測定装置が、出力信号の周波数が可変である発信源と、該発信源に接続され、該発信源から出力された出力信号の周波数と同一の周波数を有する電磁波を、前記測定対象との間に存在する伝搬媒質に放出する送信手段と、該送信手段と前記測定対象との間に設けられ、該送信手段と前記測定対象

との間において、前記伝搬媒質中に形成される定在波の振幅を検知し、検知した定在波の振幅に対応する検出信号を出力する検出手段と、該検出手段が発信した検出信号および前記発信源から発信された出力信号の周波数情報が入力され、前記出力信号の周波数に対する前記検出信号の値を示す検出信号関数を形成し、該検出信号関数が極大または極小となる少なくとも2以上の出力信号の周波数を検出し、該2以上の出力信号の周波数のうち2つの選択周波数と、該2つの選択周波数の間における極大または極小となる出力信号の周波数の数とから前記検出手段と前記測定対象との間の距離を算出する信号処理器とからなることを特徴とする。請求項3の距離測定装置は、請求項2記載の発明において、前記発信源から出力される出力信号を周波数変調させるための変調器が設けられており、前記検出手段が、前記定在波の振幅を検出し、その振幅に対応した振幅を有する検知信号を出力する受信部と、前記変調器から変調信号が入力され、該変調信号によって前記検知信号を同期検波して検波信号を形成し、該検波信号の振幅に対応する検出信号を出力する検波部とを備えたことを特徴とする。請求項4の距離測定装置は、測定対象までの距離を測定するための測定装置であって、該測定装置が、周期的に発光強度が変化する光を発信し、その周波数が可変である発光源と、該発光源と前記測定対象との間において、前記伝搬媒質中に形成される定在波の振幅を検知し、検知した定在波の振幅に対応する検出信号を出力する検出手段と、該検出手段が発信した検出信号および前記発光源から発信された光の発光強度変化の周波数情報が入力され、該光の発光強度変化の周波数に対する検出信号の値を示す検出信号関数を形成し、その周期から前記検出手段と前記測定対象との間の距離を算出する信号処理器とからなることを特徴とする。請求項5の距離測定装置は、測定対象までの距離を測定するための測定装置であって、該測定装置が、周期的に発光強度が変化する光を発信し、その周波数が可変である発光源と、該発光源と前記測定対象との間において、前記伝搬媒質中に形成される定在波の振幅を検知し、検知した定在波の振幅に対応する検出信号を出力する検出手段と、該検出手段が発信した検出信号および前記発光源から発信された光の発光強度変化の周波数情報が入力され、該光の発光強度変化の周波数に対する検出信号の値を示す検出信号関数を形成し、該検出信号関数が極大または極小となる少なくとも2以上の発光強度変化の周波数を検出し、該2以上の発光強度変化の周波数のうち2つの選択周波数と、該2つの選択周波数の間における極大または極小となる出力信号の周波数の数とから前記検出手段と前記測定対象との間の距離を算出する信号処理器とからなることを特徴とする。請求項6の距離測定装置は、請求項4または5記載の発明において、前記発光源から発信された光を2つに分光し、分光された一方の光を前記測定対象との間に存在す

る伝搬媒質に放出し、測定対象で反射した一方の光を検出手段に送る分光手段と、分光された他方の光を検出手段に送る反射用ミラーを備えていることを特徴とする。

請求項 7 の距離測定装置は、請求項 5 記載の発明において、前記発光源が発信する光の発光強度変化を周波数変調させるための変調器が設けられており、前記検出手段が、前記定在波の振幅を検出し、その振幅に対応した振幅を有する検知信号を出力する受信部と、前記変調器から変調信号が入力され、該変調信号によって前記検知信号を同期検波して検波信号を形成し、該検波信号の振幅に対応する検出信号を出力する検波部とを備えたことを特徴とする。請求項 8 の距離測定設備は、測定対象の空間座標を検出することができる測定設備であって、該測定設備が、複数の請求項 1、2、3、4、5、6 または 7 記載の距離測定装置と、該複数の距離測定装置を、同期して作動させる制御装置とからなり、各距離測定装置の信号処理器が算出した検出手段と前記測定対象との間の距離が入力され、入力された各測定装置における検出手段と前記測定対象との間の距離と、各距離測定装置の検出手段同士の相対的な位置とから測定対象の空間座標を算出する演算装置とからなることを特徴とする。請求項 9 の距離測定方法は、測定対象までの距離を測定するための測定方法であって、送信手段によって、送信手段と測定対象の間に存在する伝搬媒質に電磁波を放出して、前記送信手段と測定対象との間において、伝搬媒質中に定在波を形成させ、前記送信手段と前記測定対象の間における一定の位置において、検出手段によって、前記定在波の振幅を検出し、前記送信手段が放出する電磁波の周波数を変化させて、該周波数に対する前記定在波の振幅を示す振幅曲線を形成し、該振幅曲線の周期から、前記検出手段と前記測定対象との間の距離を算出することを特徴とする。

【0006】請求項 1 の発明によれば、以下の (1) ～ (4) に示す効果が得られる。

(1) 発信源から出力された出力信号の周波数を変化させれば、送信手段から放出される電磁波の波長が変化するので、送信手段と測定対象との間の伝搬媒質中に形成される定在波が変化し、検出手段が設けられた位置における定在波の振幅が変化する。このため、出力信号の周波数を変化させれば検出手段が出力する検出信号の値が変化するので、出力信号の周波数情報と検出信号の値から、信号処理器によって検出信号関数を形成させることができる。検出手段が設けられた位置における定在波の振幅は、電磁波の周波数、つまり発信源から出力された出力信号の周波数に対して周期的に変化し、その周期は検出手段から測定対象までの距離に対して反比例する。したがって、定在波の振幅の周期、つまり検出信号関数の周期が求められるから、その周期より検出手段から測定対象までの距離を算出することができ、検出手段から測定対象までの距離を測定することができる。

(2) 検出手段から測定対象までの距離は、出力信号の周波数に対する定在波の振幅の変動周期にのみ依存し、送信手段によって電磁波を発信してから測定対象に反射して検出手段に戻るまでの時間の影響を受けないので、測定対象までの距離が数 10 センチ以下の近距離であっても、精度よく測定できる。

(3) 検出信号関数を形成させるときに、出力信号の周波数をランダムに変化させた場合、例えば、M 系列符号等に従い出力信号の周波数をランダムに変化させれば、距離測定装置同士が、同じタイミングで、同位相かつ同じ周波数の電磁波を発信する確率はほとんどなくなる。よって、他の距離測定装置から発信された電磁波によって測定誤差が著しく増大したり、測定不能となることを防ぐことができる。

(4) 検出信号関数をフーリエ変換することによって前記周期を求めれば、複数の測定対象の間に形成された複数の定在波の振幅を同時に測定しても、各定在波に対してそれぞれ周期を求めることができる。よって、複数の測定対象と検出手段との間の距離をそれぞれ測定することができる。

請求項 2 の発明によれば、以下の (1) ～ (3) に示す効果が得られる。

(1) 発信源から出力された出力信号の周波数を変化させれば、送信手段から放出される電磁波の波長が変化するので、送信手段と測定対象との間の伝搬媒質中に形成される定在波が変化し、検出手段が設けられた位置における定在波の振幅が変化する。このため、出力信号の周波数を変化させれば検出手段が出力する検出信号の値が変化するので、出力信号の周波数情報と検出信号の値から、信号処理器によって検出信号関数を形成することができる。検出手段が設けられた位置における定在波の振幅は、電磁波の周波数、つまり発信源から出力された出力信号の周波数に対して周期的に変化し、その周期は検出手段から測定対象までの距離に対して反比例する。したがって、定在波の振幅が極大または極小となる周波数、つまり検出信号関数が極小または極大となる 2 以上の周波数を検出し、この 2 以上の周波数のうち、任意に選択した 2 つの選択周波数と、その選択周波数の間に形成される極小または極大となる周波数の数を算出すれば、検出信号関数の周期を求めることができるので、検出手段から測定対象までの距離を測定することができる。

(2) 検出手段から測定対象までの距離は、出力信号の周波数に対する定在波の振幅の変動周期にのみ依存し、送信手段によって電磁波を発信してから測定対象に反射して検出手段に戻るまでの時間の影響を受けないので、測定対象までの距離が数 10 センチ以下の近距離であっても、精度よく測定できる。

(3) 検出信号関数を形成させるときに、出力信号の周波数をランダムに変化させた場合、例えば、M 系列符号等

に従い出力信号の周波数をランダムに変化させれば、距離測定装置同士が、同じタイミングで、同位相かつ同じ周波数の電磁波を発信する確率はほとんどなくなる。よって、他の距離測定装置から発信された電磁波によって測定誤差が著しく増大したり、測定不能となることを防ぐことができる。

請求項3の発明によれば、以下の(5)に示す効果が得られる。

(5) 受信部が出力した検知信号を同期検波して検波信号を形成し、この検波信号の振幅に対応する検出信号を検波部が出力する。すると、検出信号曲線は、定在波の振幅が極小または極大となる周波数近傍では単調増加又は単調減少、しかも、定在波の振幅が極小または極大となる周波数の前後で、検出信号曲線の検出信号の値の符号が変化する曲線となる。したがって、定在波の振幅が極小または極大となる周波数の検出が正確になり、測定誤差を小さくすることができる。

請求項4の発明によれば、以下の(6)～(9)に示す効果が得られる。

(6) 発光源から発信された光の発光強度変化の周波数を変化させれば、光の発光強度変化の波長が変化するので、測定対象と発光源との間に形成される定在波が変化し、検出手段が検知する定在波の振幅が変化する。このため、光の発光強度変化の周波数を変化させれば検出手段が出力する検出信号の値が変化する。光の発光強度変化の周波数情報と検出信号の値から、信号処理器によって検出信号関数を形成させることができる。検出手段が検知する定在波の振幅は、光の発光強度変化の周波数に対して周期的に変化し、その周期は検出手段から測定対象までの距離に対して反比例する。したがって、信号処理器によって検出信号関数の周期が求められるから、その周期より検出手段から測定対象までの距離が算出することができ、検出手段から測定対象までの距離を測定することができる。

(7) 検出手段から測定対象までの距離は、光の発光強度変化の周波数に対する定在波の振幅の変動周期にのみ依存し、発光源によって光を発信してから測定対象に反射して検出手段に戻るまでの時間の影響を受けないので、測定対象までの距離が数10センチ以下の近距離であっても、精度よく測定できる。

(8) 検出信号関数を形成させるときに、光の発光強度変化の周波数をランダムに変化させた場合、例えば、M系列符号等に従い光の発光強度変化の周波数をランダムに変化させれば、距離測定装置同士が、同じタイミングで、同位相かつ光の発光強度変化の周波数が同じである光を発信する確率はほとんどなくなる。よって、他の距離測定装置から発信された光によって測定誤差が著しく増大したり、測定不能となることを防ぐことができる。

(9) 検出信号関数をフーリエ変換することによって前記周期を求めれば、複数の測定対象の間に形成された複数

の定在波の振幅を同時に測定しても、各定在波に対してそれぞれ周期を求めることができる。よって、複数の測定対象と検出手段との間の距離をそれぞれ測定することができる。

請求項5の発明によれば、以下の(6)～(8)に示す効果が得られる。

(6) 発光源から発信された光の発光強度変化の周波数を変化させれば、光の発光強度変化の波長が変化するので、測定対象と発光源との間に形成される定在波が変化し、検出手段が検知する定在波の振幅が変化する。このため、光の発光強度変化の周波数を変化させれば検出手段が出力する検出信号の値が変化する。光の発光強度変化の周波数情報と検出信号の値から、信号処理器によって検出信号関数を形成させることができる。検出手段が検知する定在波の振幅は、光の発光強度変化の周波数に対して周期的に変化し、その周期は検出手段から測定対象までの距離に対して反比例する。したがって、定在波の振幅が極大または極小となる発光強度変化の周波数、つまり検出信号関数が極小または極大となる2以上の光の発光強度変化の周波数のうち、任意に選択した2つの選択周波数と、その選択周波数の間に形成される極小または極大となる周波数の数を算出すれば、検出信号関数の周期を求めることができるので、検出手段から測定対象までの距離を測定することかできる。

(7) 検出手段から測定対象までの距離は、光の発光強度変化の周波数に対する定在波の振幅の変動周期にのみ依存し、発光源によって光を発信してから測定対象に反射して検出手段に戻るまでの時間の影響を受けないので、測定対象までの距離が数10センチ以下の近距離であっても、精度よく測定できる。

(8) 検出信号関数を形成させるときに、光の発光強度変化の周波数をランダムに変化させた場合、例えば、M系列符号等に従い光の発光強度変化の周波数をランダムに変化させれば、距離測定装置同士が、同じタイミングで、同位相かつ光の発光強度変化の周波数が同じである光を発信する確率はほとんどなくなる。よって、他の距離測定装置から発信された光によって測定誤差が著しく増大したり、測定不能となることを防ぐことができる。請求項6の発明によれば、以下の(6)～(9)に示す効果が得られる。

(6) 発光源から発信された光の発光強度変化の周波数を変化させれば、光の発光強度変化の波長が変化するので、測定対象と発光源との間に形成される定在波が変化し、検出手段が検知する定在波の振幅が変化する。このため、光の発光強度変化の周波数を変化させれば検出手段が出力する検出信号の値が変化する。光の発光強度変化の周波数情報と検出信号の値から、信号処理器によって検出信号関数を形成させることができる。検出手段が検知する定在波の振幅は、光の発光強度変化の周波

数に対して周期的に変化し、その周期は検出手段から測定対象までの距離に対して反比例する。したがって、信号処理器によって検出信号関数の周期が求められるから、その周期より検出手段から測定対象までの距離が算出することができ、検出手段から測定対象までの距離を測定することができる。

(7) 検出手段から測定対象までの距離は、光の発光強度変化の周波数に対する定在波の振幅の変動周期にのみ依存し、発光源によって光を発信してから測定対象に反射して検出手段に戻るまでの時間の影響を受けないので、測定対象までの距離が数 10 センチ以下の近距離であっても、精度よく測定できる。

(8) 検出信号関数を形成させるときに、光の発光強度変化の周波数をランダムに変化させた場合、例えば、M 系列符号等に従い光の発光強度変化の周波数をランダムに変化させれば、距離測定装置同士が、同じタイミングで、同位相かつ光の発光強度変化の周波数が同じである光を発信する確率はほとんどなくなる。よって、他の距離測定装置から発信された光によって測定誤差が著しく増大したり、測定不能となることを防ぐことができる。

(9) 検出信号関数をフーリエ変換することによって前記周期を求めれば、複数の測定対象の間に形成された複数の定在波の振幅を同時に測定しても、各定在波に対してそれぞれ周期を求めることができる。よって、複数の測定対象と検出手段との間の距離をそれぞれ測定することができる。

請求項 7 の発明によれば、以下の (10) に示す効果が得られる。

(10) 受信部が出力した検知信号を同期検波して検波信号を形成し、この検波信号の振幅に対応する検出信号を検波部が出力する。すると、検出信号曲線は、定在波の振幅が極小または極大となる周波数近傍では単調増加又は単調減少、しかも、定在波の振幅が極小または極大となる周波数の前後で、検出信号曲線の検出信号の値の符号が変化する曲線となる。したがって、定在波の振幅が極小または極大となる光の発光強度変化の周波数の検出が正確になり、測定誤差を小さくすることができる。

請求項 8 の発明によれば、以下の (11) に示す効果が得られる。

(11) 複数の距離測定装置を同期して作動すれば、同じ時間における測定対象と各距離測定装置の検出手段との間の距離を同時に求めることができる。したがって、各距離測定装置の検出手段同士の相対的な位置が分かっているので、測定対象の空間座標を算出することができ、測定手段と測定対象との相対的な位置関係を 2 次元または 3 次元的に把握することができる。

請求項 9 の発明によれば、以下の (1) ~ (4) に示す効果が得られる。

(1) 発信源から出力された出力信号の周波数を変化させれば、送信手段から放出される電磁波の波長が変化する

ので、送信手段と測定対象との間の伝搬媒質中に形成される定在波が変化し、検出手段が設けられた位置における定在波の振幅が変化する。このため、出力信号の周波数を変化させれば検出手段が出力する検出信号の値が変化する。出力信号の周波数情報と検出信号の値から、信号処理器によって検出信号関数を形成させることができる。検出手段が設けられた位置における定在波の振幅は、電磁波の周波数、つまり発信源から出力された出力信号の周波数に対して周期的に変化し、その周期は検出手段から測定対象までの距離に対して反比例する。したがって、信号処理器によって検出信号関数の周期が求められるから、その周期より検出手段から測定対象までの距離が算出することができ、検出手段から測定対象までの距離を測定することができる。

(2) 検出手段から測定対象までの距離は、出力信号の周波数に対する定在波の振幅の変動周期にのみ依存し、送信手段によって電磁波を発信してから測定対象に反射して検出手段に戻るまでの時間の影響を受けないので、測定対象までの距離が数 10 センチ以下の近距離であっても、精度よく測定できる。

(3) 検出信号関数を形成させるときに、出力信号の周波数をランダムに変化させた場合、例えば、M 系列符号等に従い出力信号の周波数をランダムに変化させれば、距離測定装置同士が、同じタイミングで、同位相かつ同じ周波数の電磁波を発信する確率はほとんどなくなる。よって、他の距離測定装置から発信された電磁波によって測定誤差が著しく増大したり、測定不能となることを防ぐことができる。

(4) 検出信号関数をフーリエ変換することによって前記周期を求めれば、複数の測定対象の間に形成された複数の定在波の振幅を同時に測定しても、各定在波に対してそれぞれ周期を求めることができる。よって、複数の測定対象と検出手段との間の距離をそれぞれ測定することができる。

【0007】

【発明の実施の形態】つぎに、本発明の実施形態を図面に基づき説明する。図 1 は、第一実施形態の距離測定装置 10A の概略ブロック図である。同図に示すように、第一実施形態の距離測定装置 10A は、発信源 11、送信手段 12、検出手段 13 および信号処理器 14 から基本構成されており、送信手段 12 と測定対象 M との間に形成される定在波 S を用いて、測定対象 M までの距離を測定するようにしたことが特徴である。

【0008】まず、第一実施形態の距離測定装置 10A を説明する前に、定在波 S について説明する。図 8 は定在波 S の形成を説明する概略説明図である。同図に示すように、電磁波発生器 B1 から周波数 f の電磁波を空気等の伝搬媒質中に放出すると、電磁波は、進行波 D となって伝搬媒質中を進行する。この進行波 D において、電磁波発生器 B1 から距離 x の位置における振幅 V_D は、そ

の周波数 f と x の関数として、以下の式で表される。

【0009】

$$VD(f, x) = \exp(j2\pi f/c \cdot x)$$

なお、符号 c は光速を示している。

【0010】やがて、進行波 D が測定対象 M に到達すると、進行波 D が測定対象 M で反射して反射波 R となり、この反射波 R は測定対象 M から電磁波発生器 $B1$ に向かって進行する。この反射波 R において、電磁波発生器 $B1$ から距離 x の位置における振幅 VR は、進行波 D の周波数 f と電磁波発生器 $B1$ からの距離 x の関数として、以下の式で表される。

$$VR(f, x) = MR \cdot \exp(j2\pi f/c \cdot (2d - x))$$

$$(MR = r \cdot \exp(j\phi))$$

なお、符号 MR は、測定対象 M における電磁波の反射係数を示している。

【0012】そして、図 8 (B) に示すように進行波 D と反射波 R が干渉すると、電磁波発生器 $B1$ と測定対象 M との間に定在波 S が形成される。この定在波 S の振幅 SP を、電磁発生器 $B1$ から x_1 だけ測定対象 M に近い検出器 $B2$ で測定すると、検出器 $B2$ が検出する定在波 S の振幅 SP は、進行波 D の周波数 f の関数として以下の式で示される。

$$Sp(f, x_1) = (1 + r^2 + 2r \cos(2\pi f/c \cdot 2d_1 + \phi))^{1/2}$$

$$(d_1 = d - x_1)$$

【0014】上記のように、検出器 $B2$ が設けられた位置における定在波 S の振幅 SP は、電磁波発生器 $B1$ から発生される進行波 D の周波数 f に対して周期的であって、その周期が $c/2d_1$ となる。つまり、定在波 S の振幅 SP は、検出器 $B2$ から測定対象 M までの距離 d_1 に反比例する。したがって、進行波 D の周波数 f を変化させれば、検出器 $B2$ が設けられた位置において、進行波 D の周期 f に対する定在波 S の振幅 SP の変動周期を求めることができるので、定在波 S によって測定対象 M までの距離を測定できるのである。

【0015】さて、第一実施形態の距離測定装置 10A について説明する。図 1 に示すように、発信源 11A は、発信部 11a と周波数制御部 11b とから構成されており、発信部 11a は、例えば交流電源等、一定の周波数 f の信号を出力できるものである。周波数制御部 11b は、発信部 11a が出力する信号の周波数 f を制御するためのものである。また、周波数制御部 11b は、発信部 11a の発信した周波数 f に関する情報、例えば、発信部 11a が発信した信号の周波数 f の数値や発信部 11a が発信する信号と同じ周波数 f を有する信号等を出力することができるものである。

【0016】前記発信源 11A には、例えばアンテナや増幅器等の送信手段 12A が接続されている。この送信手段 12A は、送信手段 12A と測定対象 M との間に存在する、例

えば空気や水等の伝搬媒質中もしくは真空中に、発信源 11A の発信部 11a が発信した信号と同じ周波数 f を有する電磁波を放出するものである。このため、発信源 11A の周波数制御部 11b によって発信部 11a が発信する信号の周波数 f を変えれば、送信手段 12A から放出される電磁波の周波数を変えることができる。

【0017】前記送信手段 12A と測定対象 M との間には、アンテナや振幅検出器、自乗検波器等の検出手段 13A が設けられている。この検出手段 13A は、送信手段 12A から放出された電磁波（以下、進行波 D という）と、測定対象 M において、反射した反射波とが干渉して形成される定在波 S の振幅 SP を検知するためのものであり、測定対象 M から距離 d_1 の位置に設けられている。この検出手段 13A は、定在波 S の振幅 SP に対応する検出信号、例えば、定在波 S の振幅 SP と同じ、もしくは振幅 SP の自乗に比例した電流や電圧等を出力することができるものである。

【0018】前記検出手段 13A には、信号処理器 14A が接続されている。この信号処理器 14A は、例えばデジタルシグナルプロセッサ (DSP) やメモリ等であり、入力されたデータを記録する記録部と、この記録部に記録されたデータを演算する演算部を備えており、この演算部によって検出手段 13A から測定対象 M までの距離 d_1 を算出することができるものである。また、信号処理器 14A は、前記発信源 11A の周波数制御部 11b にも接続されており、発信源 11A の周波数制御部 11b から発信部 11a の発信した出力信号の周波数 f に関する情報（以下、単に出力信号の周波数情報という）を受けるとともに、検出手段 13A から検出信号を受信したときに、発信源 11A の周波数制御部 11b に受信確認信号を送ることができる。

【0019】なお、第一実施形態の距離測定装置 10A では、送信手段 12A と検出手段 13A を別々に設けているが、1 つのアンテナによって送信手段 12A と検出手段 13A とを兼用させてもよい。この場合、装置をコンパクトかつ簡単な構造のものとすることができる。

【0020】つぎに、第一実施形態の距離測定装置 10A の作用と効果を説明する。図 2 (A) は検出信号関数 $A(f, d_1)$ を示した図であり、(B) および (C) は、検出信号関数 $A(f, d_1)$ をフーリエ変換した変換関数 $F(cy)$ を示した図である。図 3 は、距離測定装置 10A によって測定対象 M までの距離を測定する作業のフローチャートである。図 1 ～ 図 3 に示すように、まず、発信源 11A の周波数制御部 11b によって、発信部 11a が発信する信号の初期周波数 f_L および最終周波数 f_U を設定する。そして、周波数制御部 11b によって発信部 11a から周波数 f が初期周波数 f_L である信号を発信させれば、その信号を受けた送信手段 12A から、周波数 f が初期周波数 f_L である進行波 D が、測定対象 M に向けて、伝搬媒質中に放出される。このとき、出力信号の周波数情報が周波数制御部 11b から信号処理器 14A に送信され

る。

【0021】送信手段12Aから放出された進行波Dは伝搬媒質中を伝播して、測定対象Mに到達し、この測定対象Mで反射して反射波となり、進行波Dと逆向き、つまり送信手段12Aに向かって伝搬媒質中を伝播する。すると、進行波Dと反射波が干渉して、送信手段12Aと測定対象Mの間における伝搬媒質中に、定在波Sが形成される。

【0022】この定在波Sの振幅SPは、送信手段12Aと測定対象Mの間に設けられた検出手段13Aによって検知され、検出手段13Aが定在波Sの振幅SPに対応する検出信号を信号処理器14Aに送信する。

【0023】検出手段13Aからの検出信号を受けた信号処理器14Aは、記録手段によって検出信号の値Pを周波数制御部11bから送信された出力信号の周波数情報と1対1に対応させて、記録する。同時に、周波数制御部11bに受信確認信号を送信する。

【0024】信号処理器14Aからの受信確認信号を受けた周波数制御部11bは、発信部11aが発信する信号の周波数fをステップ周波数 Δf だけ変化させる。すると、送信手段12Aから放出される進行波Dの周波数fが $f_L + \Delta f$ に変化するが、進行波Dは一定の速度（光速）で伝播するため、進行波Dの波長が変化することになる。したがって、送信手段12Aと測定対象Mとの間における伝搬媒質中に形成される定在波Sが変化し、検出手段13Aが検知する定在波Sの振幅SPが変化するので、検出手段13Aから信号処理器14Aに送られる検出信号の値Pが変化する。この検出信号の値Pは、信号処理器14Aの記録手段によって、発信部11aの出力信号の周波数情報と1対1に対応させて、記録される。そして、再び信号処理器14Aからの受信確認信号を受けると、周波数制御部11bは、発信部11aが発信する信号の周波数fをステップ周波数 Δf 分だけ変化させる。

【0025】上記の処理を、発信部11aが発信する信号の周波数fが最終周波数 f_U と一致するまでくり返し、発信部11aが出力する出力信号の周波数fが最終周波数 f_U と一致すると、発信部11aの発信が停止される。

【0026】ついで、信号処理器14Aの演算手段によって、記録手段に記録されている出力信号の周波数情報と検出信号の値Pをから、検出信号関数 $A(f, d_1)$ が形成される。そして、信号処理器14Aの演算手段が、検出信号関数 $A(f, d_1)$ をフーリエ変換することによって、変換関数 $F(cy)$ が形成される。この変換関数 $F(cy)$ は、検出信号関数 $A(f, d_1)$ の周期cyの位置にピークを有する関数となるので、信号処理機14Aによって変換関数 $F(cy)$ から検出信号関数 $A(f, d_1)$ の周期cyを算出することができる。

【0027】前述したように、検出信号関数 $A(f, d_1)$ の周期cy、つまり定在波Sの振幅SPの周期は検出手段13Aから測定対象Mまでの距離 d_1 に対して反比例

するので、その周期より検出手段13Aから測定対象Mまでの距離 d_1 を算出することができる。したがって、距離測定装置10Aは、検出手段13Aから測定対象Mまでの距離 d_1 を測定することができる。

【0028】また、検出手段13Aから測定対象Mまでの距離 d_1 は、出力信号の周波数fに対する定在波Sの振幅SPの周期にのみ依存し、送信手段12Aによって進行波Dを発信してから測定対象Mに反射して検出手段13Aに戻るまでの時間の影響を受けないので、測定対象Mまでの距離 d_1 が数10センチ以下の近距離であっても、精度よく測定できる。

【0029】さらに、複数の測定対象Mの間に、複数の定在波Sが形成された場合、検出手段13Aが発信する検出信号は、複数の定在波Sの振幅SPが合成された値に対応するものとなる。すると、信号処理器14Aの演算手段が形成する検出信号関数 $A(f, d_1)$ は、検出手段13Aの位置における複数の定在波Sの振幅SPの変動を示す関数が合成された合成関数となるが、検出信号関数 $A(f, d_1)$ をフーリエ変換することによって形成される変換関数 $F(cy)$ は、各定在波Sの周期においてそれぞれ極大値を有する関数となる（図2（C）参考）。したがって、複数の定在波Sの振幅SPの変動周期をそれぞれ求めることができるので、複数の測定対象Mと検出手段13Aとの間の距離xを、それぞれ測定することができる。

【0030】さらに、発信部11aが出力する出力信号の周波数fを初期周波数 f_L から最終周波数 f_U までステップ周波数 Δf ごとに直線的に変化させるかわりに、初期周波数 f_L と最終周波数 f_U 間で出力信号の周波数fをランダムに変化させて、各周波数fにおける定在波Sの振幅SPを測定してもよい。この場合であっても、出力信号の周波数fと定在波Sの振幅SPを対応させることができるので、信号処理器14Aの演算手段によって検出信号関数 $A(f, d_1)$ を形成することができる。この場合、次のような効果が得られる。例えば、M系列符号等に従い出力信号の周波数fをランダムに変化させれば、距離測定装置10A同士が、同じタイミングで、同位相かつ同じ周波数fの電磁波を発信する確率はほとんどなくなる。そして、定在波Sの振幅SPは同一周波数の成分によって生じるものであるため、たとえ検出手段13Aが他の距離測定装置が発信した電磁波を受信しても、その信号成分は低域通過フィルタ等により容易に除去可能である。よって、他の距離測定装置から発信された電磁波によって測定誤差が著しく増大したり、測定不能となることを防ぐことができる。

【0031】また、信号処理器14Aの演算手段によって、検出信号関数 $A(f, d_1)$ の周期を求める代わりに、検出信号関数 $A(f, d_1)$ が極大極小となる出力信号の周期数fを2以上求めて、それらの周波数fから測定対象Mと送信手段12Aとの間の距離xを求めてもよ

い。

【0032】図4に示すように、信号処理器14Aによって検出信号関数 $A(f, d_1)$ を形成した後、信号処理器14Aによって検出信号関数 $A(f, d_1)$ が極小または極大となる2以上の周波数 $f_n \sim f_n + k$ を検出する。ついで、この2以上の周波数 $f_n \sim f_n + k$ のうち、2つの選択周波数 $f_n, f_n + k$ を選択する。そして、この2つの選択周波数 $f_n, f_n + k$ の間に形成される極小または極大となる周波数の数 $k-1$ を算出する。すると、検出手段13Aと測定対象Mとの間の距離 d_1 は、以下の式によって求められる。

$$【0033】d_1 = k \cdot c / (4 \cdot (f_{N+K} - f_N))$$

【0034】つまり、2つの選択周波数 $f_n, f_n + k$ と、この2つの選択周波数 $f_n, f_n + k$ の間に形成される極小または極大となる周波数の数 $k-1$ を算出することによって、検出手段13Aから測定対象Mまでの距離を測定することかできる。

【0035】つぎに、第二実施形態の距離測定装置10Bを説明する。図5は第二実施形態の距離測定装置10Bの概略ブロック図である。同図に示すように、第二実施形態の距離測定装置10Bは、発信源11B、送信手段12B、検出手段13Bおよび信号処理器14Bに加えて、変調器20を設け、信号処理器14Bが検出信号関数 $A(f, d_1)$ の極大または極小となる発信部11aの出力信号の周波数 f を検出する精度を高くしたことが特徴である。

【0036】図5に示すように、発信源11Bにおいて、発信部11aと周波数制御部11bの間には、変調器20が設けられている。この変調器20は、周波数制御部11bが発信部11aから出力させる周波数 f を設定した場合、発信部11aからはこの周波数 f を中心周波数として周期的に変動する信号を出力させるためのものである。つまり、発信部11aの出力信号に周波数変調を加えるためのものである。また、この変調器20は、検出手段13Bに、変調信号を出力することができる。この変調信号とは、周波数変調された発信部11aの出力信号において、周波数制御部11bが設定した周波数 f に対して周期的に変動する変動成分の信号である。

【0037】前記検出手段13には、受信部13aと検波部13bが設けられている。受信部13aは、定在波Sの振幅SPを検出し、その振幅SPに対応した振幅を有する検知信号を出力するものである。この受信部13aには、検波部13bが接続されている。この検波部13bは、前記変調器20からの変調信号および受信部13aからの検知信号を記録する記録部と、この記録部に記録された検知信号を変調信号を用いて同期検波して検波信号を形成し、この検波信号の振幅に対応する検出信号を出力する演算する演算部を備えている。また、検波部13bは、前記受信部13aからの検知信号を受けると、変調器20に受信確認信号を送ることができる。

【0038】なお、第一実施形態の距離測定装置10Aと

同様に、第二実施形態の距離測定装置10Bにおいても、送信手段12Bと検出手段13Bを別々に設けているが、1つのアンテナによって送信手段12Bと検出手段13Bとを兼用させてもよい。この場合、装置をコンパクトかつ簡単な構造のものとすることができる。

【0039】つぎに、第二実施形態の距離測定装置10Bの作用と効果を説明する。なお、周波数変調を行う作業以外は、第一実施形態の距離測定装置10Aにおいて、信号処理器14が検出信号関数 $A(f, d_1)$ の極大極小を求める場合と同じであるので、以下には周波数変調を行う作業のみを説明する。

【0040】図6(A)は、出力信号の周波数と、受信部13Bの位置における定在波Sの振幅SPの関係を示した図であり、(B)は検波部13bが出力した検出信号と発信部11aが出力した信号の周波数 f から形成される検出信号関数 $A(f, d_1)$ を示した図である。図7は距離測定装置10Bによって測定対象Mまでの距離を測定する作業のフローチャートである。

【0041】図5～図7に示すように、まず、周波数制御部11bが設定した周波数が周波数 f である場合、変調器20によって周波数変調が加えられ、発信部11aからは、周波数 f が $f + f d \cos \theta$ ($\theta = 0$)である信号が発信され、その信号を受けた送信手段12Bから、周波数 f が初期周波数 $f + f d \cos \theta$ ($\theta = 0$)である進行波Dが、測定対象Mに向けて、伝搬媒質中に放出される。このとき、出力信号の周波数変調情報が変調器20から検出手段13Bの検波部13bに送信される。

【0042】すると、送信手段12Bと測定対象Mの間に定在波Sが形成され、検出手段13Bの受信部13aが、その位置における定在波Sの振幅SPを検知して、この定在波Sの振幅SPに対応する検知信号を検波部13bに送信する。

【0043】受信部13aからの検知信号を受けた検波部13bは、その値を変調器20から送信された出力信号の周波数変調情報と1対1に対応させて、記録する。同時に、変調器20に受信確認信号を送信する。

【0044】検出手段13Bの検波部13bからの受信確認信号を受けた変調器20は、発信部11aが発信する信号の周波数 f を $f + f d \cos \theta$ ($\theta = \theta + d \theta$)に変化させる。すると、送信手段12から放出される進行波Dの周波数 f が $f + f d \cos \theta$ ($\theta = \theta + d \theta$)に変化するので、検出手段13Bの受信部13aが検知する定在波Sの振幅SPが変化するので、検出手段13Bの受信部13aから検波部13bに送られる検知信号の値が変化する。この検知信号は、検波部13bの記録手段によって、発信部11aの出力信号の周波数変調情報と1対1に対応させて、記録手段によって記録される。そして、再び検出手段13Bの検波部13bからの受信確認信号を受けると、変調器20は、発信部11aが発信する信号の周波数 f を $f + f d \cos \theta$ ($\theta = \theta + 2 d \theta$)に変化させる。

【0045】上記の処理を、発信 $\theta = 2\pi$ となるまでくり返す。そして、 $\theta = 2\pi$ となると、検波部13bの演算手段が、記録された検知信号を周波数変調情報を用いて検知信号を同期検波して検波信号を形成する。そして、検波部13bはこの検波信号の振幅に対応する検出信号を信号処理器14Bに出力するので、この検出信号は、発信源11Bの周波数制御部11bから信号処理器14Bに送られた周波数情報と1対1に対応させて、信号処理器14Bの記録手段に記録される。

【0046】そして、周波数制御部11bが発信部11aに発信させる周波数を初期周波数 f_L から最終周波数 f_U まで変化させれば、信号処理器14Bによって、検出信号周期 $A(f, d_1)$ が形成される。

【0047】図6(B)に示すように、この検知信号関数は、定在波Sの振幅SPが極小または極大となる周波数近傍では単調増加又は単調減少、しかも、定在波Sの振幅SPが極小または極大となる周波数の前後で、検出信号曲線 $A(f, d_1)$ の検知信号の値Pの符号が変化する曲線となる。したがって、第二実施形態の距離測定装置10Bによれば、定在波Sの振幅SPが極小または極大となる周波数 f の検出が正確になり、測定誤差を小さくすることができる。

【0048】また、前述の距離測定装置10による距離測定方法を応用すれば、ロボットやNCマシン等の産業機械において、作業を行う装置までの距離を測定することも可能である。図9において、符号Lは、作業を行う装置などに信号を送信する、例えばマイクロスプリットライン等の複数本の電線が平行に設けられた伝送線路を示している。この伝送線路Lの近傍には、作業を行う装置等の測定対象M1、M2が配設されている。この測定対象M1、M2に金属片等を設けておき、この金属片等を伝送線路Lに近づけておく。そして、伝送線路Lに、信号源抵抗RSを通して、発信源11Cとなる交流電源から交流電流を供給する。すると、金属片が近づけられた位置、つまり測定対象M1、M2の位置では、交流電流が形成する電場が乱れるので、測定対象M1、M2の位置と信号源抵抗RSとの間には定在波Sが形成される。このため、発信源11Cとなる交流電源の周波数を変化させて、自乗検波器等の検出手段13Cによって交流電流の電力を検知すれば、信号処理機14Cによって検出手段13Cから測定対象M1、M2までの伝送線路Lに沿った長さを測定することができる。しかも、定在波Sは、曲がった伝送線路Lに沿って形成されるため、伝送線路Lが曲がっていても、信号源抵抗RSから測定対象M1、M2までの伝送線路Lに沿った長さを正確に求めることができる。さらに、伝送線路Lの終端抵抗Rtを不整合状態にして、伝送線路Lの終端と信号源抵抗RSとの間に定在波Sを形成すれば、伝送線路Lの全長も定在波Sによって計測されることができる。したがって、伝送線路Lの全長がわかっているならば、定在波Sによって計測された

伝送線路Lの全長と、実際の伝送線路Lの全長によって、検出手段13Cから測定対象M1、M2までの伝送線路Lに沿った長さを補正することができるので、測定結果が正確になる。

【0049】つぎに、第三実施形態の距離測定装置10Dを説明する。図10は第三実施形態の距離測定装置10Dのブロック図である。同図に示すように、発信源11D、分光手段31、反射用ミラー32、検出手段13Dおよび信号処理器14Dから基本構成されており、第一、第二実施形態の距離測定装置10A、10Bと異なり、発信源11Dが発信する光の強度を周期的に変化させて、分光手段31と測定対象Mの間に形成される定在波によって、測定対象Mまでの距離を測定するようにしたことが特徴である。なお、検出手段13Dによって検知された検出信号から、分光手段31と測定対象Mまでの距離を算出する方法は、前述の第一実施形態の距離測定装置10Aと同様であるので、以下には第三実施形態の距離測定装置10Dの構成のみを説明する。

【0050】図10に示すように、発信源11Dは、発信部11aと周波数制御部11bとから構成されており、発信部11aは、例えばレーザや発光ダイオード等、発信する光の発光強度を、その強度変化が一定の周波数 f となるように出力することができるものである。周波数制御部11bは、発信部11aが出力する光の発光強度変化の周波数 f を制御するためのものである。また、周波数制御部11bは、発信部11aの発信の発光した光の発光強度変化の周波数 f に関する情報、例えば、発信部11aが発信した光の発光強度変化の周波数 f の数値や発信部11aが発信する光の発光強度変化の周波数 f と同じ周波数 f を有する信号等を出力することができるものである。

【0051】発信源11Dの発信部11aと測定対象Mの間には、例えばビームスプリッタ等の分光手段31が設けられている。この分光手段31は、発信源11Dの発信部11aから発信された光を2つに分光し、分光された一方の光を測定対象Mとの間に存在する伝搬媒質中に放出するものである。このため、分光手段31と測定対象Mとの間には、第一、第二実施形態の距離測定装置10A、10Bと同様に、定在波が形成されるのである。また、分光手段31は、測定対象Mで反射して戻ってきた反射光を、後述する検出手段13Dに向けて反射することができる。

【0052】前記分光手段31の側方には、反射用ミラーが設けられている。この反射用ミラー32は、前記分光手段31によって分光された他方の光を再び分光手段31に向けて反射するものである。この反射用ミラー32によって反射された光は、分光手段31を透過し、後述する検出手段13Dに向けて進行する。つまり、分光手段31から後述する検出手段13Dに向けて、測定対象Mで反射して戻ってきた反射光と反射用ミラー32によって反射された光が共に送られるのである。

【0053】前記分光手段31の側方において、分光手

段 31 を挟んで前記反射用ミラーと線対称の位置には検出手段 13D が設けられている。この検出手段 13D は、測定対象 M で反射して戻ってきた反射光と反射用ミラー 32 によって反射された光の強度変化の振幅あるいは振幅の自乗値を検知するためのものである。つまり、検出手段 13D は、測定対象 M で反射して戻ってきた反射光と反射用ミラー 32 によって反射された光の両方の光の強度を足し合わせた光強度変化の振幅あるいは振幅の自乗値を検出するものである。この検出手段 13D は、入射された光強度に対応する信号、例えば、入射された光強度を電圧に変換して出力するフォトディテクターを備えており、このフォトディテクターから出力される信号からは、光強度変化の振幅と同じもしくは光強度変化の振幅の自乗に比例した電流や電圧等を出力することができるものである。

【0054】前記検出手段 13D には、信号処理器 14D が接続されている。この信号処理器 14D は、例えばデジタルシグナルプロセッサ (DSP) やメモリ等であり、入力されたデータを記録する記録部と、この記録部に記録されたデータを演算する演算部を備えており、この演算部によって分光手段 31 から測定対象 M までの距離 d を算出することができるものである。また、信号処理器 14D は、前記発信源 11D の周波数制御部 11b にも接続されており、発信源 11D の周波数制御部 11b から発信部 11a の発信した出力信号の周波数 f に関する情報 (以下、単に出力信号の周波数情報という) を受けるとともに、検出手段 13D から検出信号を受信したときに、発信源 11D の周波数制御部 11b に受信確認信号を送ることができる。

【0055】したがって、第三実施形態の距離測定装置 10D によれば、検出手段 13D によって測定対象 M で反射して戻ってきた光と反射用ミラー 32 によって反射された光の両方の光の強度を足し合わせた光強度変化の振幅を検出できるが、この光強度変化の振幅は、分光手段 13D の位置における測定対象 M で反射して戻ってきた反射光と反射用ミラー 32 によって反射された光の両方の光の強度を足し合わせた光強度変化の振幅と同じ大きさを有する。そして、分光手段 13D の位置における測定対象 M で反射して戻ってきた光と反射用ミラー 32 によって反射された光の両方の光の強度を足し合わせた光強度変化の振幅の大きさは、分光手段 13D と反射用ミラー 32 との距離 L であるので、分光手段 13D から測定対象 M に向かって距離 L だけ離れた位置における定在波の振幅と同じ大きさになる。したがって、分光手段 13D と反射用ミラー 32 との距離 L が既知であれば、分光手段 13D から測定対象 M に向かって距離 L だけ離れた位置と測定対象 M との間の距離 d_1 が検出できるので、第一実施形態の距離測定装置 10D と同様に、分光手段 31 から測定対象 M までの距離 d を測定することができる。また、測定対象 M までの距離 x が数 10 センチ以下の近距離であっても、精度よく測定できる。さらに、発信部 11a が出

力する出力信号の周波数 f を、初期周波数 f_L と最終周波数 f_U 間でランダムに変化させれば、他の距離測定装置から発信された光によって測定誤差が著しく増大したり、測定不能となることを防ぐことができる。さらに、複数の定在波 S の振幅 S_P の変動周期をそれぞれ求めることができるので、複数の測定対象 M と分光手段 31 との間の距離 d を、それぞれ測定することができる。

【0056】なお、信号処理器 14D の演算手段によって、検出信号関数 $A(f, d_1)$ が極大極小となる出力信号の周期数 f を 2 以上求めて、それらの周波数 f_L から測定対象 M と分光手段 31 との間の距離 d を求める場合、初期周波数 f_L を 0 Hz として、任意の最終周波数 f_U まで出力信号の周期数 f を変化させてもよい。この場合、検出信号関数 $A(f, d_1)$ において、出力信号の周期数 f が 0 の場合には必ず検出信号関数 $A(f, d_1)$ は極大となる。したがって、初期周波数 f_L から最終周波数 f_U の間において、検出信号関数 $A(f, d_1)$ が極大となる出力信号の周期数 f を 1 つだけ求めるだけで、その周波数 f と初期周波数 f_L とを用いて、測定対象 M と分光手段 31 との間の距離 d を求めることができる。

【0057】さらになお、第二実施形態の距離測定装置 10B と同様に、発信する発光強度に周波数変調を加える変調器を設ければ、定在波の振幅が極小または極大となる周波数の検出が正確になり、測定誤差を小さくすることができる。

【0058】つぎに、本実施形態の距離測定設備 1 を説明する。図 11 は本実施形態の距離測定設備 1 のブロック図である。同図に示すように、本実施形態の距離測定設備 1 は、複数の前記距離測定装置 10 を備えている。この複数の距離測定装置 10 には、制御装置 3 が接続されている。この制御装置 3 は、前記複数の距離測定装置 10 を同期して作動させるためのものであり、各距離測定装置 10 から、電磁波を伝搬媒質中に同時に放出させることができる。また、複数の距離測定装置 10 には、演算装置 2 が接続されている。この演算装置 2 には、各距離測定装置 10 の信号処理器 14 が算出した検出手段 13 と測定対象 M との間の距離 x が入力されるものであり、この入力された各測定装置 10 における検出手段 13 と測定対象 M との間の距離および各距離測定装置 10 の検出手段 13 同士の相対的な位置とから測定対象 M の空間座標を算出することができる。

【0059】つぎに、本実施形態の距離測定設備 1 の作用と効果を説明する。図 12 (A) は本実施形態の距離測定設備 1 による位置測定方法の概略説明図であり、図 12 (B) は位置を算出するために使用される式である。同図に示すように、制御装置 3 によって、2 つの距離測定装置 10 を同期し、同時に電磁波を発信させる。すると、各距離測定装置 10 と測定対象 M との間に定在波 S_1, S_2 が形成され、各距離測定装置 10 から測定対象

Mまでの距離 d_1 、 d_2 が算出される。この各距離測定装置10から測定対象Mまでの距離 d_1 、 d_2 が、演算装置2に入力される。図12(A)に示すように、各距離測定装置10同士の距離は r であるから、両者の中間位置から測定対象までの距離 d が算出され、両者の二等分線と、前記中間位置と測定対象Mを結ぶ線分とのなす角度 θ が算出される。

【0060】したがって、各距離測定装置10の中間位置から測定対象までの距離 d と、前記中間位置と測定対象Mを結ぶ線分とのなす角度 θ を用いれば、各距離測定装置10と前記測定対象Mが存在する平面における、各距離測定装置10と前記測定対象Mの相対的な位置を把握することができる。なお、各距離測定装置10を3つ設ければ、各距離測定装置10と測定対象Mとの相対的な位置関係を3次元的に把握することができる。

【0061】

【発明の効果】請求項1の発明によれば、定在波を用いて検出手段から測定対象までの距離を測定することができ、検出手段から測定対象までの距離が数10センチ以下の近距離であっても、精度よく測定でき、複数の距離測定装置を同時に使用しても測定誤差が著しく増大したり、測定不能となることを防ぐことができる。また、複数の測定対象と検出手段との間の距離をそれぞれ測定することができる。請求項2の発明によれば、定在波を用いて検出手段から測定対象までの距離を測定することができ、検出手段から測定対象までの距離が数10センチ以下の近距離であっても、精度よく測定でき、複数の距離測定装置を同時に使用しても測定誤差が著しく増大したり、測定不能となることを防ぐことができる。請求項3の発明によれば、定在波の振幅が極小または極大となる周波数の検出が正確になり、測定誤差を小さくすることができる。請求項4の発明によれば、定在波を用いて検出手段から測定対象までの距離を測定することができ、検出手段から測定対象までの距離が数10センチ以下の近距離であっても、精度よく測定でき、複数の距離測定装置を同時に使用しても測定誤差が著しく増大したり、測定不能となることを防ぐことができる。また、複数の測定対象と検出手段との間の距離をそれぞれ測定することができる。請求項5の発明によれば、定在波を用いて検出手段から測定対象までの距離を測定することができ、検出手段から測定対象までの距離が数10センチ以下の近距離であっても、精度よく測定でき、複数の距離測定装置を同時に使用しても測定誤差が著しく増大したり、測定不能となることを防ぐことができる。請求項6の発明によれば、定在波を用いて検出手段から測定対象までの距離を測定することができ、検出手段から測定対象までの距離が数10センチ以下の近距離であっても、精度よく測定でき、複数の距離測定装置を同時に使用しても測定誤差が著しく増大したり、測定不能となることを防ぐことができる。また、複数の測定対象と検出手段との間の

距離をそれぞれ測定することができる。請求項7の発明によれば、定在波の振幅が極小または極大となる周波数の検出が正確になり、測定誤差を小さくすることができる。請求項8の発明によれば、測定対象の空間座標を算出することができ、測定手段と測定対象との相対的な位置関係を2次元または3次元的に把握することができる。請求項9の発明によれば、定在波を用いて検出手段から測定対象までの距離を測定することができ、検出手段から測定対象までの距離が数10センチ以下の近距離であっても、精度よく測定でき、複数の距離測定装置を同時に使用しても測定誤差が著しく増大したり、測定不能となることを防ぐことができる。また、複数の測定対象と検出手段との間の距離をそれぞれ測定することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第一実施形態の距離測定装置10Aの概略ブロック図である。

【図2】(A)は検出信号関数 $A(f, d_1)$ を示した図であり、(B)および(C)は、検出信号関数 $A(f, d_1)$ をフーリエ変換した変換関数 $F(cy)$ を示した図である。

【図3】距離測定装置10Aによって測定対象Mまでの距離を測定する作業のフローチャートである。

【図4】距離測定装置10Aによって測定対象Mまでの距離を測定する作業のフローチャートである。

【図5】第二実施形態の距離測定装置10Bの概略ブロック図である。

【図6】(A)は、出力信号の周波数と、受信部13Bの位置における定在波Sの振幅SPの関係を示した図であり、(B)は検波部13bが出力した検出信号と発信部11aが出力した信号の周波数 f から形成される検出信号関数 $A(f, d_1)$ を示した図である。

【図7】距離測定装置10Bによって測定対象Mまでの距離を測定する作業のフローチャートである。

【図8】定在波Sの形成を説明する概略説明図である。

【図9】伝送線路Lに沿った距離を測定する距離測定装置10Cの概略説明図である。

【図10】第三実施形態の距離測定装置10Dのブロック図である。

【図11】本実施形態の距離測定設備1のブロック図である。

【図12】(A)は本実施形態の距離測定設備1による位置測定方法の概略説明図であり、(B)は位置を算出するために使用される式である。

【符号の説明】

- | | |
|----|--------|
| 1 | 距離測定設備 |
| 2 | 演算装置 |
| 3 | 制御装置 |
| 10 | 距離測定装置 |
| 11 | 発信源 |

1 2 送信手段
 1 3 検出手段
 1 4 信号処理器
 2 0 変調器

3 1 分光手段
 M 測定対象
 S 定在波

【手続補正書】

【提出日】平成14年8月23日(2002. 8. 23)

【手続補正1】

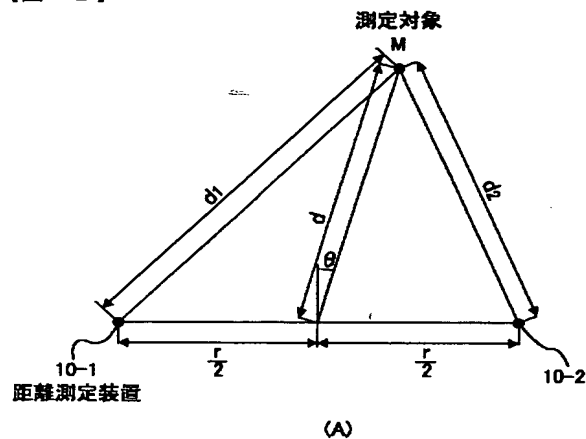
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図12

【補正方法】変更

【補正内容】

【図12】



$$(1) \quad d = \sqrt{\frac{d_1^2}{2} + \frac{d_2^2}{2} - \frac{r^2}{4}}$$

$$(2) \quad \sin \theta = \frac{d_1^2 - d_2^2}{2rd}$$

(B)

フロントページの続き

Fターム(参考) 5J070 AB15 AC02 AD01 AK22
 5J084 AA05 BA03 BB14 CA07 EA04